

第34回 (平成28年度)

助成研究の概要

研究助成金贈呈式
平成28年12月2日

研究助成推薦要項 抜粋

1. 助成の趣旨

自然科学（特に電気・機械工学系）／（医学・生理学系）および人文科学の研究を助成し、わが国の学術研究の振興に寄与しようとするものです。この目的達成のため、大学研究機関の推薦協力を得て有意義な研究、特に若手研究者で萌芽的な段階にある先駆的・独創的研究を重点的に選定し、本年度の研究助成を行います。

〈特別テーマ〉

自然科学および人文科学のすべての分野が対象となります。

題目「産業の活性化を促す新技術研究」

日本の産業には新しい価値を産み出す技術・発想が待望されています。
将来、産業界で必要とされる新技術研究を募集いたします。

〈基本テーマ〉

- A

 電気工学・機械工学を中心とした15分類に該当する幅広いテーマがすべて対象となります。
- B

 健康維持・増進を目的とした電子工学と医学/生理学の異分野からなる学際的研究を中心とした4分類に該当するテーマが対象となります。
- C

 人間育成・人間行動を中心とした2分類に該当するテーマが対象となります。

2. 対象とする研究者

大学研究機関が推薦する研究グループの代表研究者または個人研究者であり、職名については申請時点で、教授・准教授・講師・助教・助手に限ります。

応募状況ならびに助成実施状況

1. 募集及び応募

募 集 期 間 平成28年4月13日～5月31日
 応 募 数 114大学より305件

2. 選考審査

選考予備会議 7月15日開催 選考方針・選考基準の確認
 個別書類審査 7月20日～8月22日
 選 考 会 議 9月16日開催 助成候補者の選出
 理 事 会 10月14日開催 助成者40名の決定

3. 研究分野別の状況

〔特別テーマ〕 特別テーマの主旨にあったもので、分野を問わない。

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
特別テーマ		産業の活性化を促す新技術研究	46	5

〔基本テーマA〕(電気・機械工学系)

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
電子デバイス 材料・物性	1	半導体関連	12	0
	2	表示・光学関連	8	0
	3	入出力・記録関連	1	0
	4	通信・伝送用デバイス	4	0
	5	新素材・ナノテクノロジー関連	47	7
システム 情報・通信 ネットワーク メカトロニクス	6	ヒューマンインターフェイス	8	1
	7	コンピュータ・マルチメディア信号処理	9	0
	8	ソフトウェア・知識処理・セキュリティ	11	1
	9	通信・放送	3	1
	10	計測・制御	22	6
	11	機構・ロボット	5	1
環境 その他	12	環境エレクトロニクス	17	4
	13	シミュレーション科学	13	1
	14	加工法・工作法・リサイクル技術	4	1
	15	信頼性・最適デザイン	3	0

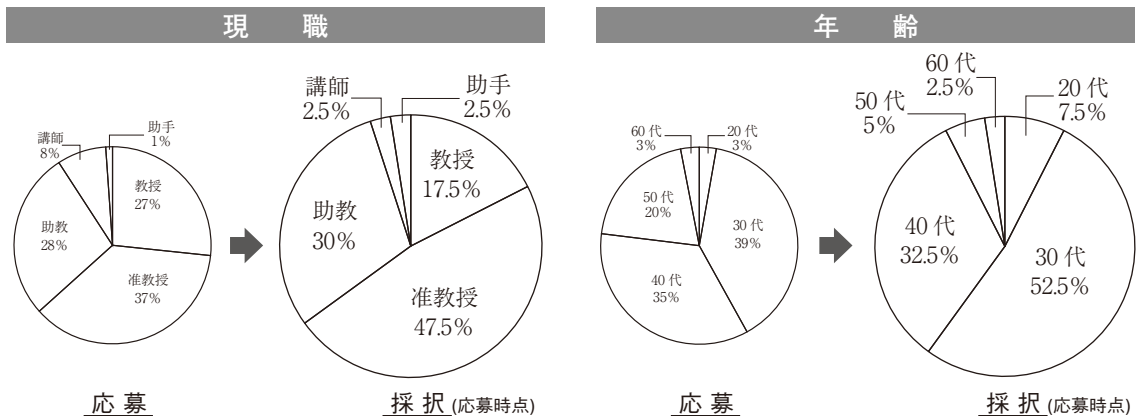
〔基本テーマB〕(医学・生理学系)

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
健康 ライフサイエンス	16	人間支援デバイス・システム	18	1
	17	ヒューマンエレクトロニクス	3	1
	18	ヘルスエンジニアリング	32	5
	19	バイオエレクトロニクス関連	10	1

〔基本テーマC〕(人文科学系)

分 野	分類No	題 目	応募件数	助成件数
人材育成 人間行動	20	人材育成に関する研究	20	2
	21	変革期における人間行動の研究	9	2

4. 研究者 (代表研究者)



5. 助成金額

【年度別 研究助成総額の推移】

回数	年度	件数	総額(千円)
第1回	昭和58	24	25,900
第2回	〃 59	28	34,912
第3回	〃 60	33	41,460
第4回	〃 61	34	43,165
第5回	〃 62	30	40,905
第6回	〃 63	33	42,950
第7回	平成 元	34	42,900
第8回	〃 2	33	43,925
第9回	〃 3	33	44,900
第10回	〃 4	41	51,760
第11回	〃 5	36	47,980
第12回	〃 6	39	51,690
第13回	〃 7	40	50,850
第14回	〃 8	39	49,830
第15回	〃 9	39	49,920
第16回	〃 10	38	49,940
第17回	〃 11	39	50,780
第18回	〃 12	39	49,710
第19回	〃 13	37	49,800
第20回	〃 14	42	55,640

回数	年度	件数	総額(千円)
第21回	〃 15	40	50,400
第22回	〃 16	39	50,740
第23回	〃 17	44	50,000
第24回	〃 18	46	51,990
第25回	〃 19	49	54,350
第26回	〃 20	43	53,000
第27回	〃 21	42	52,000
第28回	〃 22	39	50,750
第29回	〃 23	38	49,000
第30回	〃 24	38	50,000
第31回	〃 25	38	50,000
第32回	〃 26	38	49,960
第33回	〃 27	40	60,000
第34回	〃 28	40	59,990

現在までの
 助成件数 1,285件
 助成金総額 1,651,097千円

【設立認可】 昭和57年12月23日
 【特定公益増進法人認可】 昭和59年10月20日～平成22年11月30日
 【公益財団法人設立登記】 平成22年12月1日

選考委員

秋 田	喜代美	東京大学 大学院教育学研究科 教授
荒 木	光 彦	大阪電気通信大学 理事 京都大学 名誉教授
五十嵐	哲	成蹊大学 特別研究招聘教授 工学院大学 名誉教授
伊 藤	彰 義	日本大学 理工学部理工学研究所 上席研究員 日本大学 名誉教授
内 川	義 則	東京電機大学 理工学部 教授
枝 松	圭 一	東北大学 電気通信研究所 教授
木 村	忠 正	電気通信大学 名誉教授
越 田	信 義	東京農工大学 特別招聘教授・名誉教授
米 田	隆 志	芝浦工業大学 副学長・システム理工学部 教授
笹 瀬	巖	慶應義塾大学 理工学部 教授
定 本	朋 子	日本女子体育大学 大学院研究科長 教授
高 橋	智	東京学芸大学 総合教育科学系 教授
平 川	一 彦	東京大学 生産技術研究所 教授
広 田	照 幸	日本大学 文理学部 教授
松 山	泰 男	早稲田大学 基幹理工学部 教授

平成28年度

研究助成

第34回(平成28年度) 研究助成一覧

40件

助成金総額 5,999万円

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
1	新しい半導体接合による低電圧スイッチ素子応用と高性能化に関する研究	北海道大学大学院情報科学研究科 准教授 富 岡 克 広	500
2	粒子内原子配列の実空間モデリングによる階層構造科学の創成	筑波大学数理物質系 教授 西 堀 英 治	500
3	スピン軌道効果を利用した革新的磁化制御技術の構築	東京大学大学院理学系研究科 准教授 林 将 光	500
4	匂い濃縮素子と単原子金属を用いた嗅覚センサ	東京工業大学科学技術創成研究院 教授 中 本 高 道	499
5	あらゆる半導体中の電子輸送を"触らず"に"壊さず"に測定する技術の統合開発	京都大学大学院工学研究科 教授 関 修 平	500
6	3次元周期極小曲面を有するナノ多孔質グラフェンを用いた新しい物理の開拓の研究について	筑波大学大学院数理物質科学研究科 准教授 伊 藤 良 一	100
7	電界駆動型磁気デバイスの創製に向けた規則原子配列構造を有する高機能強磁性・強誘電薄膜材料の探索・合成	秋田大学大学院理工学研究科 准教授 吉 村 哲	100
8	有機半導体薄膜のスピンコート中における過渡発光寿命の動的測定	山形大学有機材料システム研究推進本部 准教授 硯 里 善 幸	100
9	極めて高い動力伝達効率・位置決め精度・耐荷重性および広い可動範囲を実現する球体型全方向駆動歯車の研究	山形大学大学院理工学研究科 准教授 多 田 隈 理 一 郎	100
10	手術シミュレータ用フルハイビジョン裸眼立体ディスプレイの画質向上	筑波大学システム情報系 准教授 掛 谷 英 紀	100
11	生体組織のための異常透過回折現象を用いる小角散乱X線撮像法の開発	群馬大学大学院理工学府 助教 砂 口 尚 輝	100
12	原子レベルでの電気化学反応メカニズムの解明に資する液中原子分解能構造・物性同時計測技術の開発	埼玉大学大学院理工学研究科 助教 小 林 成 貴	100
13	超短パルスレーザーによる薬品フリーの表面着色加工法の開発に関する研究	東京農工大学大学院工学研究院 准教授 宮 地 悟 代	100
14	分子配線を指向した導電性高分子の自発成長	東京工業大学物質理工学院 准教授 稲 木 信 介	100
15	超高速・高分解能超音波イメージングに関する研究	富山大学工学部 教授 長 谷 川 英 之	100
16	強誘電体をゲートとしたダイヤモンドパワー FETの創出と巨大分極誘起による超低損失動作の実証	金沢大学理工研究域 准教授 川 江 健	100
17	螺旋状ナノファイバグラフェーティングの開発とその高感度光センシングデバイスへの応用	静岡大学工学部 教授 李 洪 譜	100
18	複雑流れ問題における超並列計算機を援用した大規模トポロジー最適設計法の開発	大阪大学大学院工学研究科 助教 矢 地 謙 太 郎	100
19	柔軟かつ高効率なネットワークの実現を目的とした全光変調フォーマット変換による適応変復調技術の研究	徳島大学大学院理工学研究部 助教 岸 川 博 紀	100
20	高解像度MRI診断デバイス開発を志向した超伝導マグネット材料のナノ組織制御技術の開発	九州大学大学院工学研究院 准教授 寺 西 亮	100

No	研 究 テ ー マ	代 表 研 究 者	助成金額 万円
21	宇宙機の軌道力学系の最適制御理論	九州大学大学院工学研究院 准教授 坂 東 麻 衣	100
22	超伝導加速器の省エネルギー化に向けた、空間的温度勾配下の超伝導転移が示す磁束トラップ低減現象の研究	総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科 助教 久 保 毅 幸	100
23	人工知能によるカラスの音声分類とそのデータベース自動構築および対話用インタフェースの開発	総合研究大学院大学学融合推進センター 助教 塚 原 直 樹	100
24	フェルダジラジカル系へのキャリアドーブによる新規有機磁性導体の開発	大阪府立大学大学院理学系研究科 准教授 山 口 博 則	100
25	革新的マルチフェロ素子開発のための電子型強誘電体薄膜の電荷秩序相制御	日本大学理工学部 助手 永 田 知 子	100
26	修復性を有する複合めっきテクスチャリング表面の潤滑特性	関東学院大学理工学部 准教授 宮 永 宜 典	100
27	高熱伝導率を有するナノ流体の界面・熱輸送現象の解明	同志社大学研究開発推進機構 助教 山 崎 晴 彦	100
28	構造化照明を用いたフェムト秒・ナノメートルの時空間分解能を有する超解像顕微鏡過渡吸収測定装置の開発	関西学院大学理工学部 助教 片 山 哲 郎	100
29	超音波刺激が誘発する神経可塑性の機序解明と耳鳴り抑制への応用	北海道大学大学院情報科学研究科 教授 館 野 高	100
30	植物細胞内セカンドメッセンジャーのリアルタイム可視化による植物増産基盤技術の構築	東北大学大学院理学研究科 講師 高 岡 洋 輔	100
31	数理モデルと脳活動計測による運動記憶形成過程・保持過程に関わる脳内表象の解明とその応用	東京農工大学大学院工学研究院 特任准教授 瀧 山 健	100
32	がん細胞での磁場による薬剤作用の増強メカニズムの解明	金沢大学理工研究域 准教授 柿 川 真 紀 子	100
33	二本鎖DNAによる新規の遺伝子ノックダウン現象の実行因子の解明と生体内での再構築	大阪大学大学院理学研究科 助教 小 沼 健	100
34	老眼補償画像の生成によるグラスレスディスプレイ法の開発	九州工業大学大学院工学研究院 准教授 河 野 英 昭	100
35	ヴァーチャル環境が惹起する実在感：立位バランス機能から評価する	上武大学ビジネス情報学部 准教授 井 田 博 史	100
36	発光機能をもつ環境応答性金属錯体の分子設計と放射線による殺細胞効果の評価への応用	青山学院大学理工学部 教授 田 邊 一 仁	100
37	高齢者の熱中症の低減につながる行動誘発のための情報設計法の構築	宇都宮大学地域デザイン科学部 助教 糸 井 川 高 穂	100
38	半導体の技術革新を促進するM&Aのあるべき形の探求：データベースを用いた統計解析	大阪大学大学院経済学研究科 准教授 中 川 功 一	100
39	高学歴女性の再就職に関する実態調査と教育機関をつうじた支援のあり方に関する調査研究	日本女子大学人間社会学部 教授 大 沢 真 知 子	100
40	里海を題材とした海洋教育プログラムの評価：岡山県備前市立日生中学校の事例研究	立命館大学政策科学部 助教 桜 井 良	100

【背景 (内外における当該分野の動向)】

次世代エレクトロニクス、とりわけ集積回路で構成される電子機器・携帯電子端末の最大の課題は、消費電力を削減しつつチップ性能を高性能化することである。集積回路の消費電力は、動作時でトランジスタの駆動電圧の2乗に比例し、待機時で駆動電圧に比例する。このトランジスタの駆動電圧は、サブスレッショルド係数と電流幅(on/off)で決定される。回路の消費電力やFETの駆動電圧の大幅な削減には、サブスレッショルド係数の低減が有効である。しかしながら、従来のMOSFETは、サブスレッショルド係数に最小限界があるため、集積回路チップあたりの電力密度が集積度とともに急増する。そのため、物理限界を回避し、サブスレッショルド係数を急峻化したスイッチ素子、いわゆるsteep-slopeスイッチ素子の開発が急務となっている。例えば、サブスレッショルド係数30mV/decを達成した場合、駆動電圧は単純に半減し、回路の消費電力は75%、待機電力の削減も含めると80%以上を削減できる。

このsteep-slopeスイッチ素子のうち、トンネル輸送を応用したトンネルFETが次世代低電圧スイッチ素子として有望視されており、昨年度より、世界各国で34の研究機関がトンネルFETの開発に着手している。トンネルFETの関連研究は、1990年初頭から報告例があり、近年では、Si, Ge, III-V化合物半導体、二次元薄膜材料などの材料系で研究報告例があるが、実験的にサブスレッショルド係数が60 mV/decを下回る報告例は10件にも満たない。このうち、最小のサブスレッショルド係数の報告例は申請者らのInAs/Siヘテロ接合界面縦型トンネルFETである。III-V/Siヘテロ接合界面は、SiとIII-V族化合物半導体を融合した新しい接合界面であり、近年申請者の研究グループで形成手法を初めて確立した。これは、単純な結晶成長で、精緻なドーピング制御することなく、Staggered-Type IIバンド構造を形成できるため、トンネルFET素子応用に適している。しかしながら、電子の輸送機構にトンネル輸送機構を利用しているため、オン電流が小さくなる欠点がある。

【目的】

本研究では、半導体ナノワイヤ選択成長技術で形成されるSi/III-V族ヘテロ接合界面で生じるトンネル輸送過程と、従来のIII-V族ヘテロ接合による高電子移動度(HEMT)構造を半導体ナノワイヤチャンネル中に形成することで、より急峻なサブスレッショルド特性で、高いスイッチ電流を実現するHEMT型トンネルFETを提案・実証【図1】することで、トンネルFETの本質的な欠点を克服する技術を確立する。

【学術的な独自性と意義】

本研究は、MOVPE選択成長技術を用いて、III-V族化合物半導体ナノワイヤをSi基板上に集積する技術とナノワイヤの成長方向を制御する技術を確認しており、均一なサイズ形状からなるSi/III-V一次元ナノ構造をハイブリット化し、任意の位置にその構造を集積できる点で独創的である。さらに、一次元ナノ構造であるナノワイヤ構造のコヒーレント成長を用いて、Si/III-Vヘテロ接合に形成されるバンド不連続性をトンネルFETとして機能化する点で独自性に優れる。また、この新しい接合界面について、単純な選択成長技術で自然発生的にトンネルFETに特異な電子バンド構造を形成できるため、従来のトンネルFETの作製について必要不可欠であった、精緻なドーピング制御技術が不要である。また、III-V族化合物半導体とSiの組み合わせを工夫することで、トンネルFETの高性能化、具体的には、キャリア輸送の低消費動作と高速化を他の研究機関に先んじて開発する点で先駆的である。

【期待される成果と発展性】

トンネルFETには、トンネル障壁によるキャリア輸送を利用していることから、スイッチングで得られる電流が従来のトランジスタよりも基本的に小さくなるという欠点を有している。これらの欠点に対して、Si/III-V一次元ナノ構造の固相界面に生じるポテンシャル障壁をトンネル輸送に利用するとともに、キャリアの受け手側、二次元電子ガスを同時に形成することで、これらの課題を克服した低消費・高速化を目指す。この素子を開発し、Si-LSI技術に導入した場合、現在の集積回路の性能を維持したまま、チップ当たりの電力密度を 10^3 W/cm²から10 W/cm²以下に削減することができる。Si-CMOSはあらゆるエレクトロニクス機器・車載機器で普及しており、これらの電力密度(消費電力)を1/100にする要素技術を確立できる。車載用素子として提案したHEMT型トンネルトランジスタでインバータ回路やスリープ回路を構成することで、待機電力の要らない電子回路を構成することができる。また、本研究で提案する二次元電子ガスとトンネルFETの融合概念は、次世代パワートランジスタにも応用可能であり、車載パワーインバータ・LSIの低消費電力化へも発展可能となる。

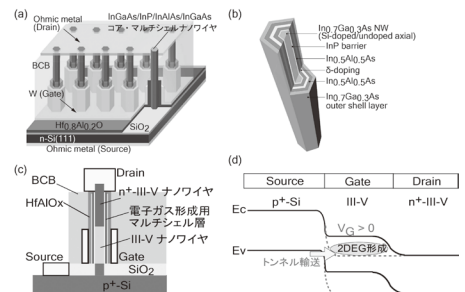


図1 (a) HEMT型トンネルFET構造。(b)コア・マルチシェラナノワイヤ模式図。不純物ドーピングによるn型層と真性層を有したInGaAsナノワイヤをコアとし、二次元電子ガス(2DEG)を供給する層としてマルチシェラ構造をナノワイヤの側壁に形成する。(c)、(d) 垂直自立型ナノワイヤトンネルFET構造図と動作原理の概略図。

①背景

エコタイヤや航空機の炭素素材など、放射光X線のマルチスケール構造観測への利用が実材料開発の鍵となり日本が世界を先導する産業へと繋がり始めた。組織観測のため原子より大きなナノからミクロンメートルスケールのマルチスケール観測が生み出した基礎研究からの産業への発展を、電池材料などの無機材料へとつなげていくために、0.001ナノからミクロンメートルスケールの階層的構造を観測することが望まれている。電子顕微鏡観察がこの役割の多くを果たしてきたが、試料の剥片化など前準備を要するうえ大気下で測定できないなどの制約も多い。放射光X線のように大気下・実使用下での観測が可能な手法でのマルチスケール計測が強く望まれている。

②目的

本研究の目的は、0.001ナノからミクロンメートルスケールの階層的構造をすべて原子配列として観測し、原子の移動が機能を発現する二次電池材料などの高機能化に直結する情報を提供することである。ミクロンサイズの紛体粒子の集合体を利用するLiイオン二次電池等において、単一粒子の表面、粒界、粒子内部すべてを原子の配列および電子分布や静電ポテンシャル分布として可視化し、その動作原理の解明から機能発現の学理構築から高機能化の指針を導出する。この目的のために、粒子の集合体から、各粒子のサイズ、形状分布、表面、内部形状の分布を原子配列として解明する方法を構築する。ミクロン～数10ナノメートルの構造を調べる小角散乱、単粒子単結晶X線回折、他粒子(粉末)X線回折の複合的な手法を用いて回折データを測定する。測定された複数の手法の異なるデータをすべて組み合わせて解析するシステムを構築し、ミクロンサイズ粒子の構造を多粒子平均の原子配列として解明する。

③学術的な独自性と意義

本申請の学術的な特徴は、構造計測基盤として確立した“単結晶X線回折”と最近実材料での研究が盛んな“小角散乱”と“粉末X線回折”を測定・解析法含めてシームレスに繋ぎ合わせることで多くの分野で望まれる“広い領域での原子配列可視化”を実現することにある。粉末・単結晶X線回折の装置・手法開発から実材料研究で成果を上げてきた申請者のみが実現可能な独創的な研究である。Whole Powder Pattern Modeling(WPPM)やTotal Scatteringと呼ばれる粉末の回折パターンから粒子の平均外形や歪分布を求める研究が欧米の最先端放射光研究で盛んになりつつある。申請者は、これらの方法を包含し、且つ実材料研究により適している、**粒子内原子配列の実空間モデリングによる解析法**を発案し研究を開始した。この手法については、今年初めの放射光学会で発表し、小角散乱、コヒーレント散乱など先端放射光利用者の注目を集めた。本研究では、この手法をベースに利用する回折データの種類を増やした方法を開発する。申請者の独自アイデアの研究で、得られる情報はWPPM, Total Scatteringを凌駕するため開発の意義は高い。

④期待される成果と発展性

本申請によって、Liイオン二次電池正極材料の粒子内の全原子配列が解明されることで、なぜ、イオンを引き抜けるのか？イオンは粒子内のどこから抜けるか？など実際には観測できていない多くの疑問が解明される。粒子内の全原子配列解明は、磁石、誘電体など多くの分野で未解明ながら解明すべき課題である。例えば誘電体ドメインの分布も本手法により全原子配列として解明できる。測定、解析の基盤を多くの材料に適用可能な形で構築することで、その普及効果は計り知れない。

①背景

近年のモバイル端末の普及、クラウドコンピューティングの導入等により、ストレージデバイスに対する需要は爆発的に増加しており、対応できる大容量情報記憶技術が必要とされている。デジタル情報の多くは、半導体メモリのように電荷の有無、またはハードディスクドライブのように磁性体の磁化の向きによって保存されている。更なる技術の高度化には、電荷・磁化の制御技術ともに電力消費の抑制が重要な課題となっている。

磁性体の磁化制御に関しては、近年研究開発で目覚ましい進展がある。従来、外部磁場に依存していた磁化制御が、「スピン移行トルク」という現象を使って電気的に行うことが明らかになり、さらに最近では、薄膜ヘテロ構造における「スピン軌道効果」を利用してより効率的な磁化制御が可能になる結果が報告されている。新たに見つかったスピン軌道効果を利用すれば、ヘテロ構造に電流パルスを印加するだけで、ドット型磁性体の磁化反転や1次元細線における磁区構造の並進移動、または多磁区構造を生成することができる(図1参照)。このような2次元平面状の磁区構造を自在に制御する技術は様々なストレージデバイスに応用できるとして注目されている。しかし、磁化の制御に必要な電力がまだ大きく、実用化に向けた課題となっている。

②目的

本研究では物質中や界面で発現する「スピン軌道効果」が巨大化する積層構造を明らかにする。スピン軌道相互作用が大きく構造反転対称性が破れたヘテロ構造を設計し、巨大なスピンホール効果が発現する機構を決定する。これにより、磁性体の磁化方向を格段に高い効率で制御できる新たな基盤技術を構築する。

③学術的な独自性と意義

本研究では巨大なスピンホール効果を誘起するために、物質の電子状態やスピン軌道相互作用を原子層レベルで人工的に制御するというこれまでの延長線上にないアプローチをとっている。バンド構造に起因するトポロジカルな効果が発現する構造反転対称性が破れた系を用いて、巨大なスピンホール効果が生成できれば、学術的にも工業的にも非常に意義が大きい。

④期待される成果と発展性

本研究により、高効率の磁化制御技術が確立できれば、情報ストレージ技術にイノベーションを起こすことができる。超高速のスイッチングメモリから大容量のストレージデバイスまでを1つの技術でカバーすることができればそのインパクトは計り知れない。また、2次元平面状の磁区構造を低電力で自在に制御することが可能になれば、磁性体を使ったロジック回路や、磁気光学効果等を利用したスマートウィンドウなどに展開できることが期待される。

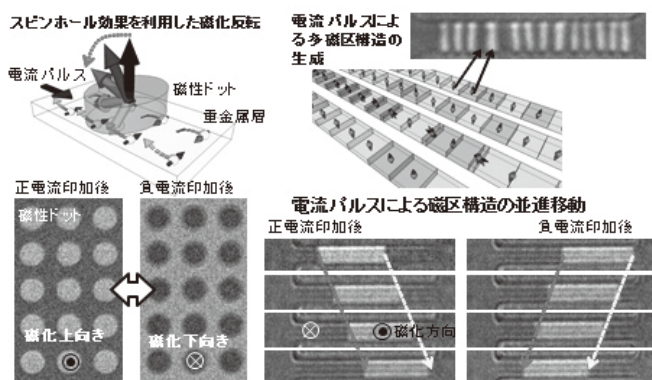


図1. スピンホール効果などのスピン軌道効果を利用した革新的磁化制御機構の例

①研究背景

安全安心な社会を実現する上で嗅覚センサは重要である。災害や異常を検出するにはセンシング技術が不可欠であり、視聴覚だけで検出するのが困難な情報を検出するのに嗅覚は有効である。たとえば、火事の際に最も早く火災を検出できるのは嗅覚である。申請者自身も近隣の研究室の真空ポンプ過熱の際に経験している。嗅覚は我々の安全安心に関してなくてはならない重要な感覚である。

しかし、視聴覚に関するセンシング技術が成熟分野なのに対して、嗅覚に関する技術はまだ発展途上にある。本研究では安全安心な社会を実現するために、嗅覚センサに焦点をあてる。匂いセンサに関しては、主にセンサデバイスに関する研究が多いが、まだ十分な感度や選択性を有するものは実現されていない。近年ヨーロッパを中心に1万素子程度を集積化した大規模センサアレイの研究が行われている。従来は十程度の素子数を用いるものが多く、飛躍的に素子数は増大したが、特性が類似したものが多くて真のデータ次元数はあまり多くない。

②目的

匂い濃縮素子と単原子状金属を組み合わせて高感度高選択性の嗅覚センサを実現し、安全安心な社会を実現するために実用に供するようなセンサシステムを実現する。

③学術的な独創性と意義

センサ素子としては、単原子金属(Atomic metal)を用いたセンサを開発する。図1に単原子金属を示す。このセンサはまだ世の中にまったくないセンサで単原子金属の触媒を利用するために究極の感度が期待でき独創性は大きい。表面の原子は活性化されるのに対してバルクの原子は活性化されない。通常材料のサイズを下げていくと表面とバルクの比が大きくなり、触媒活性の効率が向上する。ここでは個々の原子を1層ごとに積み上げて金属原子クラスタを形成し、安定な有機物質であるポリアニリンで金属原子クラスタをアイソレートさせる。この原子クラスタの構造や構成を変えることにより様々な性質を持つ電気化学センサを実現することができる。このようなセンサはまだ実現されていない。

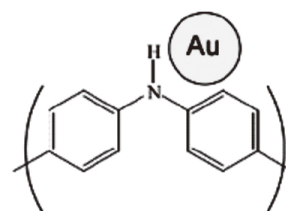


図1. 単原子金属の構成

また、通常は多孔質の濃縮材に匂いを吸着させて熱脱着後に別のセンサで検出する方法をとるが、本研究では高い効率で短時間に濃縮するために、基板をペルチェ素子で冷却して集める方式をとる。匂いと共に水分も基板表面に凝結し薄い水膜を構成する。湿度は通常測定の影響となるが、本研究では逆にそれを利用して電気化学センサを実現する。測定後は、SAWデバイスのSAWストリーミング現象を利用して水膜を瞬時に取り除き次の測定に備える。

④期待される成果と発展性

Electronic noseと呼ばれる分野ができて四半世紀たつが、未だに社会に普及するには至っていない。感度や選択性に関しては現状のセンサではまだ満足できる性能のものがなく、なにかブレイクスルーが必要である。申請者は従来にまったくない原理のセンサを提案し、それにより飛躍的な性能向上を狙う。そして、従来は時間は前処理を行って分析器を使用しなければできなかった測定を安全安心やヘルスケアの分野で可能にする。高価な分析器で長時間かけなければ結果が得られなかったのが、安く短時間で計測できるようになるために様々な応用が可能になり、嗅覚センサを広く社会に浸透させるキーデバイスに発展可能である。

① 背景 / ② 目的

近年、共役系が発達した低分子・高分子有機半導体の開発が進み、半導体性を示す共役材料を用いた電子デバイスへの応用、実用化が注目を集めている。しかし、次々と報告される新しい材料に対し、その電気電子的特性評価を行う速度が追いついていないのが現状である。これは、素子形成の最適化や安定した評価には時間が必要であるという根本的な問題である。このような背景の中、申請者の研究グループでは、電気伝導度の非接触評価法による迅速な材料スクリーニング手法を開拓してきた。鍵となる技術は、光励起による電荷キャリア生成とマイクロ波を用いた誘電損失計測(FP-TRMC法)であり、素子、電極を必要とせず、石英基板上に材料を塗布もしくは貼り付けた試料さえあれば材料の持つおよそナノメートル空間スケールの局所電荷輸送特性を "触らず" に "壊さず" に評価できる現状唯一の手法である。

上記のTRMC法は汎用的な素子形成とその電流解析を元にした評価手法と比較して圧倒的な材料評価速度を有しているものの、あえて弱点に目を向けると、光電荷注入過程は (i) 本質的に電子・正孔移動度の分離が困難、(ii) 電荷分離効率の過渡吸収分光法による定量が別途必要、という問題を抱えているとも言える。これに対する解として、本申請では、電界キャリア注入を用いることにより正孔と電子の分別が可能かつ半導体/絶縁体界面での電荷キャリア輸送を評価する① FI-TRMC法、と化学ドーブを行い電荷キャリア数をスピン数より見積もる② CD-TRMC法、という複合電磁波分光法を提案・展開していく。これにより、材料の電荷輸送特性に関して短時間でさらに詳細な情報を得ることができ、評価対象となる材料の汎用性も拡大する。

③ 学術的な独自性と意義 / ④ 期待される成果と発展性

マイクロ波分光により非接触で電気伝導度を定量評価することそのものに大きな独自性がある。本申請で提案するFI-TRMC法は、ゲート電圧の印加により評価する電荷キャリア種(正孔/電子)の分別が可能だけでなく、界面における局所電荷キャリア移動度にアプローチする唯一の手法としての独自性も有する。すなわち、有機電子デバイスの動作において最重要課題の一つである、界面における電荷キャリアのダイナミクスを捉えることが可能である。例えば、代表的な手法である電界効果トランジスタ(FET)法では、ソース/ドレイン両電極と半導体との間での電荷注入過程など複数の素過程を含んだ素子全体の性能のみしか評価できないのに対し、FI-TRMC法では絶縁体/半導体界面に蓄積させた電荷キャリアの共振現象をマイクロ波でプローブすることにより、界面に限定した電荷輸送特性を評価できる。CD-TRMC法においては、光吸収に特徴が乏しい材料・成膜性に難のある材料など汎用手法で評価が不可能なものに対し、化学ドーブによる電荷キャリア生成を行うことで誘電損失測定およびスピン密度定量評価を可能にし、材料本質的な電荷キャリア移動度を評価できるという点で大きな意義を有する。

本申請で提案される新しい複合電磁波分光法の開拓・展開により、有機エレクトロニクス材料の高速スクリーニング性能評価を可能とすることが期待される。有機エレクトロニクスの分野では、多様な新規有機化合物が合成されているが、高い性能で素子駆動しないが故に実用化される前に捨てられた材料が存在する。本計測技術では局所電荷輸送特性だけをのみを評価可能であるため、「現状の分子設計では実用化に耐える性能は示さないが、基礎骨格自体は高い性能を持ち、分子構造を最適化する価値のある材料」を発見することができる。すなわち、「忘れ去られた材料に眠る宝」を探すことが可能な手法として科学技術の進歩に貢献する。また、本計測技術は他に例のないユニークな手法でありながら、その計測プロセス・素子作成については汎用的なものであり、適切なマイクロ波回路さえ組んだ後は、特別な技術を必要とせずに測定が可能である。そのため、“誰にでも使える計測技術”として、有機エレクトロニクスの研究分野での実用化により社会貢献することが期待される。

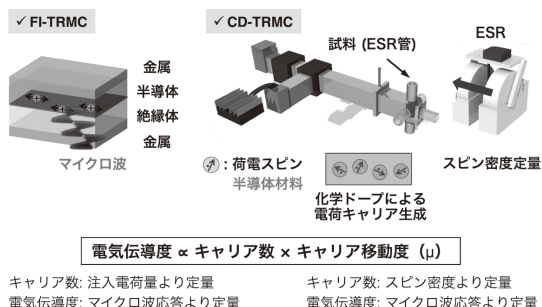


図1 電界誘起および化学ドーブ法によるキャリア生成とマイクロ波誘電損失測定を組み合わせた新しいTRMC法の概念図。

3次元周期極小曲面を有するナノ多孔質グラフェンを用いた新しい物理の開拓の研究について

研究者 筑波大学大学院数理物質科学研究科 准教授 伊藤 良 一

①背景

グラフェンは優れた電気伝導特性を有しているが、2次元平面構造を持つグラフェンは厚みのある3次元デバイス作製に向かず産業活用ににくい欠点も持ち合わせている。近年申請者らによって図1の3次元構造を持つナノ多孔質グラフェンの作製に成功した。この多孔質グラフェンはナノサイズの孔を持ち1~2層で構成された3次元周期極小曲面を有し、一繋がりの連続体であることが明らかとなった。また、ナノ多孔質グラフェンは3次元に入り組んだ多孔質構造を持っているにも関わらず、電子易動度 $500\text{ cm}^2/(\text{Vs})$ を有しており、2次元グラフェンが持つディラックフェルミオンの状態密度を有している。

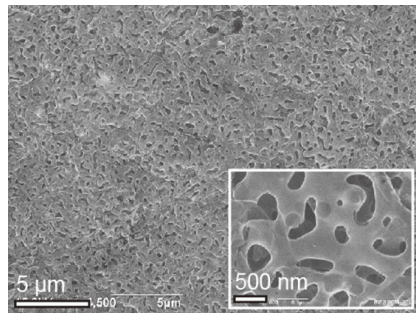


図1. 申請者が作製したナノ多孔質グラフェンのSEM像。

②目的

3次元周期極小曲面を持つグラフェンは、周期的連続曲面上で自由電子を束縛されてる特殊な状態でありどのような電子デバイスに使えるか検討する上で非常に重要な課題である。近年申請者によって3次元周期極小曲面を持つグラフェンが2次元グラフェンにはない電気特性を示すことが明らかになりつつあり、これら特異な物性を明らかにすることでシリコンデバイスに取って代わる新しい低環境負荷・低コストな3次元グラフェンデバイスを開発したい。

③学術的な独自性と意義

この新規物質であるナノ多孔質グラフェンの最大の特徴は滑らかに接続された3次元周期極小曲面を持つナノ多孔質金属を鋳型とし化学気相蒸着(CVD)法で作られたことである。図2は申請者が所属している研究室で行われた透過型電子顕微鏡断層撮影法によって3次元に再構成した像である。このような原子レベルで非常に滑らかな表面構造と一繋がりの共連続構造体を有した基材を用いて世界で初めて実現した3次元周期極小曲面を持つグラフェンは他者が追従できないほどユニークな材料である。

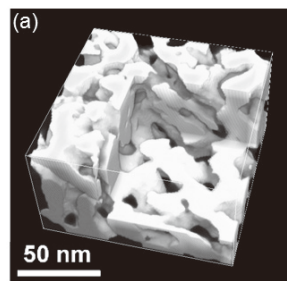


図2. 3次元周期極小曲面を持つナノ多孔質金属。

④期待される成果と発展性

グラフェンはシリコン代替品として有望視されているが、現状液晶ディスプレイ等を除いて実用化まで辿り着けていない。その理由は作製コストが高い(低需要)点が挙げられる。しかし、これほど研究されているにも関わらず、工業として需要が伸びないのかは別の理由があるはずである。その原因はグラフェンが2次元シートであるという根本的なところにあると申請者は考える。つまり、優れた性能を持つが炭素1個分の厚さのグラフェンシート1枚では実用的な性能を出すことはできない。したがって、何百枚も何千枚もグラフェンを使って実用に耐えられるレベルが出るまで性能を「加算」させなければならない。しかし、乾電池と違ってグラフェンは1枚+1枚が2枚分の性能にならない。それは積層・集合化した場合、重なっているグラフェン間の予期せぬ電気的相互作用により精密なデバイス制御には不向きであるからだ。このような背景から、グラフェンは2次元シートが故に応用用途に制限が出来てしまい、重量換算性能値は優れているが体積換算性能値が他の材料よりも劣っているという問題を解決できない。本申請書3次元構造を持つグラフェンは元々3次元構造を有していることからこのような問題は起こらず、シリコンに替わる厚みのある3次元電気デバイスの開発に繋がると期待できる。

電界駆動型磁気デバイスの創製に向けた規則原子配列構造を有する 高機能強磁性・強誘電薄膜材料の探索・合成

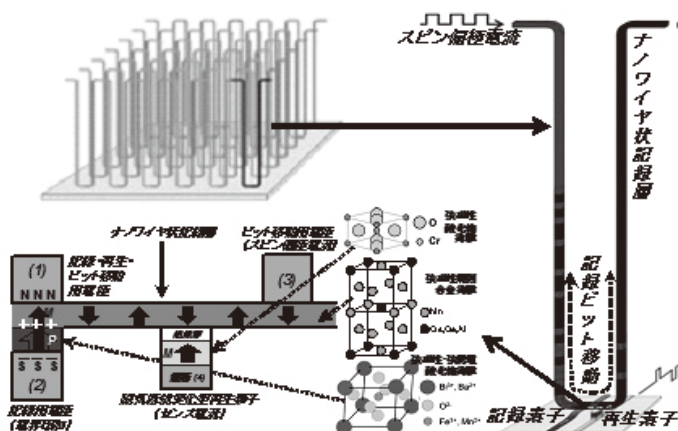
研究者 秋田大学大学院理工学研究科 准教授 吉 村 哲

① 磁性薄膜において、極めて小さい電力で極めて小さい領域の磁化反転を実現させることは、磁性薄膜を用いたデバイスにおいて、使い勝手や性能が飛躍的に向上する可能性が有ることを意味する。しかしながら、通常、磁化反転には、コイルに電流を流して発生させた磁界を用いており、原理的に電力損失が大きく、かつ磁界発生領域を絞ることは難しい。約1世紀にわたって使用されてきたこの電流磁界方式に対して、近年、スピン注入磁化反転方式が多く検討されているが、偏極スピンを発生させるために素子構造が複雑になること、電力損失がまだまだ大きいこと、などから、理想的な磁化反転方式とは言えない。この現状を打破するためには、磁化を電界で駆動する新しい方式、およびそれに適した高機能な材料の探索およびその高品位合成が必要不可欠である。

② 申請者が実証に成功した「電界印加のみによる完全磁化反転」は、超低消費電力稼働を可能にする革新的な『電界駆動型磁気デバイス』を、世界にさがけて実現し得る可能性がある。上記のデバイスを真に実現させるためには、応用を想定するデバイスに求められる性能を満足させることが可能な物性を有する、高機能な強磁性かつ強誘電薄膜材料を探索し、その薄膜を高品位に合成しなければならない。例えば、磁気メモリに関しては、高保磁力・高飽和磁化などの物性を有する材料が、光変調素子に関しては、巨大磁気カー効果・高キュリー温度などの物性を有する材料が、それぞれ必要であり、それらを電極配線薄膜上等に高品位に作製しなければならない。本研究では、これらの物性を有する強磁性かつ強誘電薄膜材料を探索し、それらの高品位薄膜を非単結晶基板上に合成するプロセスを確立することを目的とする。

③ 磁気デバイス分野における電界駆動は、これまでの電流磁界の印加や流行の偏極スピンの注入とは全く異なる概念・方式であり、超低消費電力型の次々世代駆動方式として注目され始めている。この電界駆動において、これまでに報告されている、強磁性や強誘電性の材料を複合化した素子における電界印加による磁化方向制御(4ページ目の②に関連情報を記載)に比較して、申請者を除いてほとんど実現されていない、強磁性かつ強誘電性の単相材料における電界のみの印加による完全磁化反転(4ページ目の①に関連情報を記載)は、断然実用性に優れている。また、その単相で強磁性かつ強誘電性を有する材料に関して、一般的には、極低温や強磁場雰囲気下等における電気分極の発現機構やその挙動に関する電気的な物性の研究が主であり、申請者が注目している、磁気モーメントの積極的な使用や制御にはほとんど目が向けられていない。以上の背景から、本研究に関連し、3件の受賞、1件の特許(日本・米国)、6件の特許出願、JST・さがけへの採択、秋田大学・研究者海外派遣事業への採択(現在リスポンの研究所に滞在中)、などの成果が得られている。

④ 本申請により探索・合成する強磁性かつ強誘電薄膜材料を用いて、将来的に実用化を検討している革新的なデバイスとして、超低消費電力・超大容量の次々世代磁気メモリ【右図】や、超低消費電力・高解像度の次々世代光変調素子、などがある。前者は、現行の磁気記録装置(ハードディスクドライブ：HDD)に対して、100分の1以下の低消費電力稼働・100倍以上の記憶容量、が期待できるメモリであり、パソコンの使用法や情報の取り扱いの有り方を激変させる可能性がある。後者は、4K、8K、より先の世代の夢のテレビ：空間像再生型の立体テレビに使用されるホログラフィ方式を実現し得る素子であり、現行方式では考えられない、自然で見やすい立体像(見る角度を変えれば立体像の見え方も変わる)を、低消費電力・高解像度で空間に表示することが可能になる。



①背景

プリンテッド有機エレクトロニクスが注目されているが、真空プロセスに比較し性能が劣る。その一因は膜質の違い。

有機EL、有機太陽電池、有機トランジスタ等の有機エレクトロニクスデバイスは、薄膜、フレキシブル、軽量など、無機半導体に無い付加価値を有するだけでなく、大気圧での塗布・印刷プロセス、150℃以下の低温プロセスが可能であり、製造に要するエネルギーも大幅に削減が可能である省エネデバイスになりうる。例えば有機EL(OLED)はディスプレイ・照明分野で普及が開始しているが、その製造プロセスは真空成膜プロセスであり、本来の有機エレクトロニクスの優位性を生かし切っていない。その理由は、塗布・印刷プロセスでは、真空プロセスに比較してOLED特性が劣るからである。塗布・印刷によるOLED特性劣化の要因として「成膜プロセスによる膜質の違い」がある。

②目的（課題設定とねらい）

ウェットプロセスにおける分子レベルでの膜形成過程の把握(将来的には膜質制御)を行う

ウェットプロセスにおける膜質制御を行う必要があるが、溶液から固体薄膜に至る過程において、どのような分子の状態を経ているか研究が行われていない。膜質を制御するためには、膜形成過程を詳細に観測し知る必要がある。本研究では、ウェットプロセスにおける膜形成過程において、分子状態の情報を得るためにパルスレーザーを用いた励起寿命測定を連続的に行うことにより、溶液→濃縮→固体膜になる時の分子状態の情報を得ることを目的としている。

③学術的な独自性と意義

出来上がった薄膜の膜質研究は多く行われているが、膜形成過程の動的観測は極めて独自性が高い

これまでに、各種プロセスにより出来上がった薄膜の膜質評価は研究されている(熱物性、膜密度、分子配向性等)が、膜形成過程そのものを観察する試みは皆無であった。後述するが、私はこれまでにPL(フォトルミネッセント)や吸収スペクトルから、スピンコート中における膜形成過程の観察を行ってきた。今回は励起寿命の情報を取得することで、より分子レベルの状態情報の取得が可能であり、世界で初めての試みである。

④期待される成果と発展性

材料構造・膜形成過程・膜質の関係性が把握でき「勘」に頼らない研究開発が可能に。(ウェットプロセス全般に適用可能)

理想的なデバイス特性を得るためには、材料構造、膜形成過程、膜質の3つの関係性を詳細に把握する必要がある。従って垂直的に連携しながら開発する必要があり、本研究の測定方法を用いることで、飛躍的に開発スピードの向上が見込める。特に有機材料の主骨格や置換基、溶剤・雰囲気等の関係性を科学的にアプローチすることが可能であり、これまで生産現場では勘に頼っていた部分を理論に沿った開発体制を築くことが可能である。本申請は有機エレクトロニクスを中心に研究を進めるが、ウェットプロセスを用いる有機薄膜形成の全てで利用できる汎用性の高い技術である。

極めて高い動力伝達効率・位置決め精度・耐荷重性および広い可動範囲を実現する 球体型全方向駆動歯車の研究

研究者 山形大学大学院理工学研究科 准教授 多田 隈 理 一 郎

①背景（内外における当該分野の動向）

当該分野である「球面モータ」における従来の技術としては、産業技術総合研究所のように球体表面に配置した永久磁石を、外部に配置された電磁石からの磁力で、ジンバル機構の内部において回転させる方式の球面モータ、東京農工大学のように超音波駆動方式の球面モータ、および東北学院大学のようにオムニホイール型の全方向車輪によって、摩擦車としての球体を回転させる方式の球面モータがあった。ただ、これらの従来技術は、小型化が困難で、滑りが発生しやすく、出力を大きくし難いという欠点があった。

②目的（課題設定とねらい）

本研究は、歯車構造により従来技術より小型・軽量で大出力の球面モータの開発を目的とする。具体的には、内部の球体と、それを支持する外部の球殻に、直交する方向に歯車構造を持たせて、球体内部のモータと平歯車および外部球殻側のモータと平歯車により、直交する2方向の回転を実現する機構である。これにより、小型・軽量の機構で、大きな動力を伝達できる球面モータを作ることとをねらいとする。

③学術的な独自性と意義

本研究の学術的な独自性としては、内部球体および外部球殻のそれぞれにピッチ円までの歯車構造と、それに直交する方向への溝構造とを加工し、駆動用平歯車と噛み合わせ、動力伝達方向と直交する方向へは、駆動用平歯車が回転軸の方向に、滑らかに溝の中をスライド運動して球体の動きを妨げないという機構により、直交する2方向の回転自由度を一つの球体構造に配置して、小型・軽量の機構により、確実に高い動力を伝達可能な球面モータを製作するという点が挙げられる(図1)。このように2方向に曲率を有する全方向駆動歯車機構に基づく球面モータ技術により、ロボットアームの関節などの動力伝達機構をより小型・軽量に構成でき、限られた空間により多くの、高出力の自由度を配置できるという意義がある。

④期待される成果と発展性

本研究で期待される成果としては、歯車の噛み合いによって確実に動力を伝達することにより実現される極めて高い動力伝達効率と位置決め精度、および耐荷重性を有する球体型全方向駆動歯車を製作することが可能で、さらに外部に支持用のジンバル機構を必要としないことから、外部の構造と球体を構成する部品とが機械的に干渉すること無く、広い可動範囲を実現できるために、小型・軽量で、高出力かつ広い可動範囲を持つ汎用的な球面モータ機構の製作が可能になることが挙げられる。

本研究で期待される発展性としては、車載機器・航空機器や医療・福祉器具などの、サイズや重量の制限が厳しい機械に使用できる動力伝達機構を提供し、これまで動力を付加することが困難であった狭隘な箇所に、複数の自由度を配置して、様々な作業を行う小型機器を可能にするということが挙げられる。

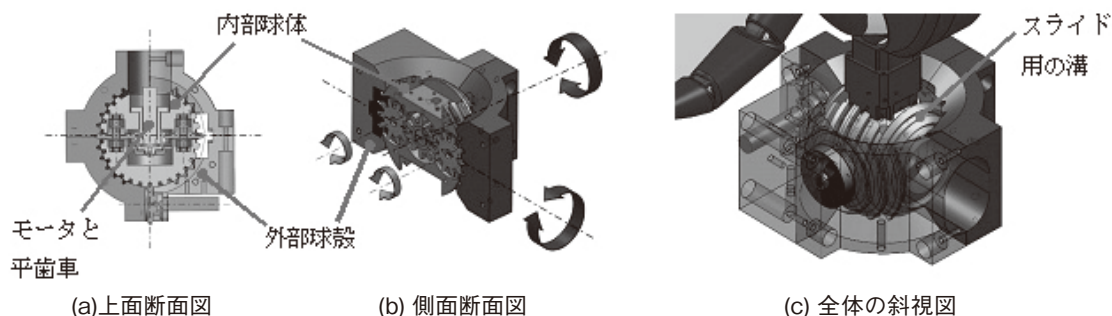


図1 球体型全方向駆動歯車

①背景

医療分野における計測技術、画像処理技術の飛躍的進歩は、術前のリハーサルや術中のナビゲーションなど、手術をより安全にすることを可能にしてきた。近年では計算解剖学と呼ばれる分野が確立され、九州大学の橋爪誠教授らを中心に先導的な研究が進められている。しかしながら、この分野の研究の主眼は、データの取得(計測)と加工(画像処理)にあり、データの表示については革新的な試みはあまりなされていない。

もちろん、これまでも医療現場への立体ディスプレイの導入は試みられている。しかし、その多くは眼鏡式立体ディスプレイである。その理由として、現在市販の裸眼立体ディスプレイの解像度が、眼鏡式立体ディスプレイに比べて著しく低いことが挙げられる。たとえば、4Kパネルを使った東芝製の医療用ディスプレイにおいても、立体映像を表示するときの解像度は1280×720画素となり、フルハイビジョン画像に劣る。一方、眼鏡式立体ディスプレイも、共同作業仲間間で互いにアイコンタクトがとれないこと、眼鏡の煩わしさなどの欠点があり、眼鏡式立体ディスプレイと同等の画質を裸眼立体ディスプレイで実現することへの期待は大きい。

②目的

本研究は、手術シミュレータとして医療現場で利用可能な高解像度裸眼立体ディスプレイシステムの開発と評価を行う。本研究で用いる裸眼立体ディスプレイ方式のプロトタイプシステムは既に完成しており、現在医学生教育用のシミュレーション装置として実用に至っている。しかしながら、手術のリハーサルなどの医療現場で実際に活用するためには、クロストークの低いより高品質の立体像を提示することが要求される。本研究では、この課題を解決することを目的とする。

③学術的な独自性と意義

本研究が学術的に独自性を有する点は、表示デバイス分野における医工連携である。これまでの医工連携研究の多くはデータの取得と加工が中心であり、表示デバイスは既存の技術を単に応用していることが多かった。表示デバイス分野は、これまでシーズベースの研究が中心であり、それが昨今のディスプレイ産業低迷の一因となっていると考えられる。本研究では、医療現場でより使いやすい表示デバイスの開発を、実際の医師の指導と評価を踏まえて行っていく点に特色があると考ええる。

④期待される成果と発展性

本研究によって見込まれる成果による社会的寄与としては、今後予想される外科医不足で増大する医療現場の負担軽減が挙げられる。現在、わが国では外科医の減少が深刻な事態になりつつある。近年、医学生に占める女性比率が急増し、その数値は40%に近づいているが、女性医師の外科の選択率は男性医師の約2割と極めて低い(吉田あつし著『日本の医療のなにが問題か』)。結果として、外科の若手医師は従来に比べると大幅に減少している。この傾向が続けば、外科医の数は将来、現在の半数近くにまで減少すると予想される。その一方で、加速する高齢化で外科手術の需要は今後増加していくことが見込まれており、この需給ギャップは近い将来大きな社会問題として顕在化すると予測される。こうした社会環境のもと、より激務化すると予想される外科手術の現場において、外科医師を助けるための種々のインタフェースの導入は、増大する作業負担を軽減することにつながると考えられる。

①背景

小角散乱X線撮像法(USAXS)は、微小領域に分布する微細構造やマイクロ・ナノ粒子群に対してコントラストを生成する方式である。小角散乱の起源は、微小構造とその外側の屈折率差であり、X線ビームがそれらの境界を伝播するとランダムな屈折を繰り返し、角度秒程の角度広がりとなって出射される。この現象を小角散乱と呼ぶ。USAXSは、従来の吸収や位相コントラストX線撮像方式では困難であった初期乳癌の特徴である微小石灰化や腫瘍の形成のない段階での早期の微小腫瘍細胞などを描出できる可能性を持っており、生体応用へ向けた研究が精力的に行われている。近年ではUSAXSによる乳房内微小石灰化の描出例が報告されている。しかしながら、従来のUSAXS撮像方式は、散乱が生じやすい微小石灰化等を描出することができるが、散乱が生じにくい腫瘍組織では感度が足りず描出は望めない。

②目的

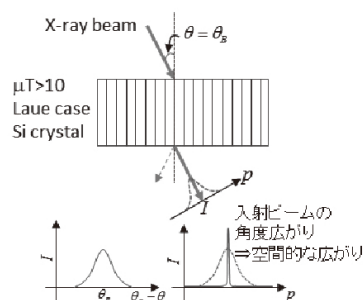
本研究では、乳房組織内の微小な腫瘍組織を描出するために、従来よりも理論上1000倍程度高感度な小角散乱に基づくX線光学系を提案する。提案手法の有効性を理論・シミュレーションおよび高エネルギー加速器研究機構で行われる撮像実験を通して実証す。

③学術的な独自性と意義

高感度USAXS光学系の実現のために、X線の動力学的回折理論(菊田惺志著、X線回折・散乱技術上)にあるSi単結晶の異常透過回折現象に着目した。具体的には次の2つの特徴(図参照)が利用される。

1. 結晶の厚さが $\mu T > 10$ (μ : Siの吸収係数, T : 結晶の厚さ)の条件になると、通常結晶に入射したX線は 10^{-5} 程度まで減衰しほとんど透過しないが、ブラッグ角 θ_B を挟む約1角度秒の範囲で入射させるとその20%程度が異常透過する現象が起こる。
2. 入射X線が完全に平行なビームである場合、結晶の出射面における空間的なビームサイズは入射時と同じであるが、僅か数角度秒でも広がりがある場合、結晶中で1万倍以上に広がり(ボルマンファン), 出射される点である。

すなわち、平行性の高いX線を入射源として、 $\mu T > 10$ の条件を持つ結晶に θ_B で入射することで、被写体の小角散乱をX線の出射サイズとして取得することができる。仮にPixel sizeが10 μm のX線CCDカメラでこれを撮像すれば、小角散乱の角度広がりを 10^{-4} 角度秒のコントラスト分解能で画像化することができる。これは従来法の約1000倍の感度に相当する。



④期待される成果と発展性

現在臨床で利用されるX線撮像技術は、物質固有の吸収特性の違いによってコントラストを生成している。この吸収は、骨や石灰化など高い原子番号で構成される物質で大きいのが、生体軟組織など低い原子番号で構成される物質で小さいため、従来の吸収コントラスト方式では生体軟組織の陰影が付きにくい。特にマンモグラフィーはこの吸収コントラスト方式に基づいており、病変の見落としが著しく多いことが指摘されている。本研究により腫瘍組織の描出能などが明らかになり、医学的に有用な結果が得られれば、新しいマンモグラフィー法として展開できる可能性がある。

原子レベルでの電気化学反応メカニズムの解明に資する 液中原子分解能構造・物性同時計測技術の開発

研究者 埼玉大学大学院理工学研究科 助教 小林 成 貴

①背景(内外における当該分野の動向)

電気化学反応は、電池、触媒、防食、メッキなど、様々な産業技術で利用されている重要な化学現象である。これらのメカニズムを理解することは、新しいエネルギーデバイスや高耐食性金属材料などの開発に必要不可欠であり、ひいてはエネルギー・環境問題の改善につながる。これまでの研究では、電気化学測定法や分光学的手法を用いて反応メカニズムが調べられてきた。しかしながら、これらの手法の多くは、マイクロ～ナノスケールの空間分解能にとどまり、その範囲内で平均化された間接的な情報しか得られない。一般に、電極表面で起こる電気化学反応は電極表面の構造に敏感であり、その効率やメカニズムは原子レベルでの凹凸、欠陥、不純物に左右される。そのため、表面・界面で起こる反応のプロセスを、原子・分子レベルで直接観察することが極めて重要である。近年、周波数変調原子間力顕微鏡(FM-AFM)(図1)による表面構造の液中原子分解能観察が実現し、固液界面で起こるプロセスを原子レベルで直接観察できる技術として非常に期待されている。一方で、電気化学反応は電極表面と反応物との電子のやりとりが大きく関与しているため、表面構造だけではその詳細なメカニズムを理解することができない。走査型トンネル顕微鏡(STM)は表面の電子状態の局所分布を原子分解能で可視化することができる有力な技術である。

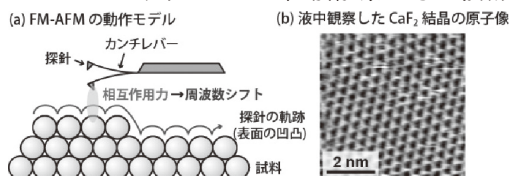


図1. FM-AFMの動作モデルと液中観察例

②目的(課題設定とねらい)

そこで本研究では、液中環境下にある表面構造を原子分解能で可視化することができるFM-AFMに、電子状態分布を可視化することができるSTM機能を付加した「液中原子分解能FM-AFM/STM同時計測技術」を開発する(図2)。この技術を用いて、電極表面上で起こる様々な電気化学反応のプロセスにおける表面構造と電子状態の相関関係を原子レベルで明らかにすることを目指す。

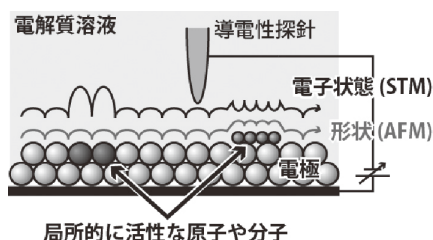


図2. 液中FM-AFM/STM同時計測の模式図

③学術的な独自性と意義

本研究で開発する技術は、同じ探針を用いて、同視野内で、表面構造と電子状態を同時に、原子分解能で、電気化学反応のプロセスをその場(液中)観察することができる。そのため、AFM・STMそれぞれ単独で測定するよりも、効率かつ綿密に電極表面での電気化学反応における局所的なナノ構造と電子状態の関係を調べることができる最先端AFM計測技術となる。

④期待される成果と発展性

本研究で開発した技術を用いることで、例えば、特異的に化学反応が発生する電極表面上の特定の原子や分子を可視化することができる(図2)。これにより、高い触媒活性を示すサイトや腐食が進行しやすい特定の箇所が明らかになる。これらの知見を利用することで、触媒材料の開発や、金属腐食の微視的な理解や予測・防止法の開発における時間やコストを大幅にカットできると期待される。

①背景

モルフォチョウというアメリカ大陸に生息する蝶は、翅(はね)の表面にある櫛形の鱗粉が光の干渉を誘起するため、色素などを使わなくても鮮やかな青色を発色している。構造色と呼ばれるこの発色の仕組みは、周期構造体の大きさが可視光の波長(300~750 nm)と同程度かそれ以下であるために起こる。

近年、この現象を模倣し、人工的に周期構造体を作ることによって、着色剤のような薬品を使わなくても固体表面を着色することが実現されつつある。その中の一つとして、精密に強度を調節した超短パルスレーザーを固体に集光照射することによって、その表面に形成される周期構造体を利用したものがある[A.Y.Vorobyev & C.Guo, Appl.Phys.Lett. **92**, 041914 (2008)]。ステンレス鋼やアルミニウム板に着色を行ったこの研究は、単にレーザーパルスを固体表面に大気中で照射するだけなので非常に簡便ではあった。しかし、周期構造生成のメカニズムの解明が世界的にも公知の課題であったため、形状の制御法が見つからず、結果、不規則な形状しか形成できなかったため、多少色がついて見えるという程度の発色性の非常に悪いものであった。

一方、応募者はレーザーにより誘起されるこの周期構造体の生成メカニズムに関する実験および理論研究を現象の発見当初から先駆的に行ってきており、物理過程の解明と形状の制御に世界に先駆けて成功している。

②目的

本申請研究では、これまでに得た物理過程と形状制御の手法を利用し、発色性がよく、視野角の広い着色表面を作る技術を開発することである。具体的には、応募者らが開発した2ステップアブレーション手法を用い、固体表面に大きさ150 nm程度、深さ100 nmのドットを周期200 ~ 500 nmで均一に形成することによって、フォトリソバンドギャップを発現させ、発色性が良く、視野角が広い着色表面を形成する。

③学術的な独自性と意義

パルス幅が数100fs以下のレーザーを固体に集光照射したときのみ、その表面が微細な電磁エネルギーの分布によって削り取られ、波長の1/10~1/4の周期構造体が自己組織的に形成されることがよく知られている。この現象は2000年初めに発見され、応募者の前職の京都大学宮崎健創研究室で先駆的に生成メカニズム解明に向けての基礎研究が行われてきた。その結果、強いレーザー光によって励起される電子とその集団振動であるプラズモンが強く関わっていることを明らかにした。さらに、プラズモンを積極的に制御できる2ステップアブレーション手法を開発することによって、均一な周期構造体形成を世界にさきがけて実現している。学術的には新しい表面素励起の実証とその応用として注目されているが、これらを産業応用に向けた技術へと発展させることが次の目標であり、学術と産業を結びつけるような成果を発信することが本研究の意義である。

④期待される効果と発展性

本技術の特徴は、着色剤のような薬品を全く使わないだけでなく、ただ、レーザー光を大気中で照射するだけで着色できる点である。レーザーを照射した箇所が着色されるため、着色領域はレーザー照射位置を掃引させることによって数 μm ~mサイズが可能であり、これをマスクレスで行うことができる。レーザー光と励起された電子が作り出す局所的な電磁場によって表面を微細に削り取るというメカニズムのため、表面は加工標的の材質のみで構成され、かつ、ドライプロセスで行える。さらに、着色剤だと退色が起こるが、本現象では周期構造体が壊れない限り発色性は衰えない。また、廃液もでないためその処理へのエネルギー消費もなく、環境負荷も低い。このような手法は他にはないため、特に、着色したいけれども薬品が使えないような用途への応用が実現可能となる。

①背景

電子デバイス材料分野において、軽量かつ柔軟な有機・高分子材料への期待は大きく、例えば有機ELや有機薄膜太陽電池の各層に適切な素材開発が進んでいる。一方で、分子エレクトロニクス分野では、分子レベルでの接合や分子一つ(あるいは高分子一本鎖)の移動度評価などの研究も盛んである。しかしながら、現状ではナノギャップ端子間を確率論的に接合した分子の挙動を測定するといった非常に基礎的な段階である。分子エレクトロニクスの一つの目標である分子配線の達成には多段階のブレイクスルーが必要である。

②目的

本研究では、上記問題解決へのアプローチとして、「導電性高分子の自発成長」に着目し、新しい分子配線技術への応用を目指す。ごく最近、申請者はバイポーラ電気化学と呼ばれる手法を駆使し、給電されていない、ワイヤレス電極からの導電性高分子の自発成長現象を発見している。この手法を基に、金属線末端から選択的に導電性高分子を成長させることで分子配線を用いた電子回路を描くことができるものと着想した。

③学術的な独自性と意義

導電性高分子をワイヤー状に成形する、あるいは成長させる方法として、従来は電界紡糸(エレクトロスピンニング法)やテンプレート(鋳型)重合法が報告されている。前者は高分子溶液を射出させて成形する、後者はナノシリンダー状の鋳型内部で導電性高分子を合成するものであり、ともにワイヤー状高分子を得ることができても、分子配線技術とは次元が異なる。本研究のバイポーラ電気化学に基づく導電性高分子の自発成長現象の発見は、申請者がごく最近Nature Communications誌に発表した独自の成果であり、現状では金属線(30 μm 径、長さ10 mm程度)の両端から導電性高分子を合成(モノマーの重合反応)しながらワイヤー状(樹枝状、3 μm 径)に成長していき、隣り合う金属線を導電性高分子ワイヤーで架橋することができる画期的な手法である(図1左)。導電性高分子を用いた分子配線技術の開発に向けた重要な研究課題であると認識している。

④期待される成果と発展性

上記通り、金属線末端から選択的に導電性高分子を成長させる技術は分子配線への応用に向けた第一歩である。従来にない全く新しいアプローチであるため、当該分野にブレイクスルーをもたらす可能性を有しているものの、改善すべき課題は存在する。現状での導電性高分子の形状が樹枝状であるため、微細な回路を配線するには一次元成長が理想である(図1右)。また、ワイヤーの径は再現性良く約3 μm で得られるものの、さらなる微細化への工夫が求められる。本研究では、これら課題の解決に向けて取り組み、その暁には分子配線技術としての発展が見込まれる。

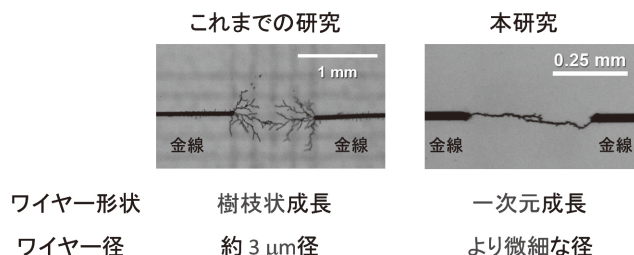


図1. バイポーラ電解法による導電性高分子の自発成長

①背景（内外における当該分野の動向）

現在、臨床に広く普及している超音波診断装置は、X線CTやMRIなどの他の画像診断装置に比べ、一般的な装置でも撮像速度は秒間数十枚と高速であり、その時間分解能の高さは超音波診断の大きな利点の1つである。近年、その時間分解能をさらに飛躍的に向上させる超高速イメージング法が幅広い領域で利用されるようになってきている。従来の超音波イメージング法は、送信、受信ともに集束ビームを使用するため、1回の超音波送受信でイメージングできる範囲が狭く、対象領域の画像を1枚測定するために100回から200回の送受信が必要であり、フレームレートの上限は数十Hzであった。それに対し、超高速超音波イメージングでは送信に平面波などの非集束ビームを使用することにより、1回の送信で広い範囲に超音波を照射し、従来法に比べ劇的に少ない送信回数(極端な場合は1回のみ)で画像を構築することが可能であり、撮像速度を1 kHz以上と飛躍的に向上させることができる。高速超音波イメージングは、生体内の弾性波伝搬現象の可視化など、従来の超音波診断では得られなかった情報が得られる革新的な手法として注目を集めている。申請者は、超高速超音波イメージングの循環系動態計測における有用性を世界に先駆けて示している(参考文献[1])。

②目的（課題設定とねらい）

このように全く新しい情報をもたらす超高速超音波イメージングであるが、その最大の欠点は、空間分解能が劣化するという点である。これは、送信に用いる非集束ビームの指向性が低いことによる。超音波イメージングの空間分解能を決める要素として、超音波の伝搬方向の距離分解能と、伝搬方向と直交する方向の方位分解能がある。空間分解能劣化という問題を解決するため、方位分解能の向上については超音波ビームフォーミング技術が盛んに研究され、多くの成果が報告されている。申請者は、これらの手法と同等以上の方位分解能を実現しながら、計算負荷を大幅に低減する画期的な手法を開発し報告している(申請者論文[1-3])。

上述のとおり、方位分解能の改善手法については多くの報告があるものの、超音波伝搬方向の距離分解能の向上手法については研究が少なく、更なる効果をもたらす手法が必要である。本研究では、超高速超音波イメージングにおける距離分解能向上手法の開発を行う。

③学術的な独自性と意義

医用超音波イメージングに使用される超音波送受信器は、超音波振動子を多数配列したアレイプローブであり、方位分解能はアレイの指向性に基づいている。それに対し、超音波伝搬方向の距離分解能は超音波振動子の周波数帯域に依存することから、その向上手法は方位分解能とは全く異なる手法が必要であり、現状ではウィナーフィルタを用いた手法などが散見されるだけである。本研究では、未だ実現されていない超高速超音波イメージングにおける距離分解能を向上させる手法を開発する点に独自性があり、革新的な技術である超高速超音波イメージングに高空間分解能をも付与するという困難な課題を解決する点に大きな意義がある。

④期待される成果と発展性

本研究で開発する超音波画像の距離分解能向上手法により、時間分解能、空間分解能ともに従来の超音波診断を遥かに凌駕する革新的な超音波断層画像計測法を確立できる。また、本手法は超音波診断だけでなく、レーダー計測や画像処理分野における汎用の分解能向上手法として使用することも可能となる。

【参考文献】

[1] H. Hasegawa and H. Kanai, "Simultaneous imaging of artery-wall strain and blood flow by high frame rate acquisition of RF signals," IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr., vol. 55, 2626-2639, 2008.

強誘電体をゲートとしたダイヤモンドパワーFETの創出と 巨大分極誘起による超低損失動作の実証

研究者 金沢大学理工研究域 准教授 川 江 健

①背景

人間社会の持続的な発展に向けた重要課題として、限りあるエネルギー資源を効率的に利用できる省エネ型社会の構築がある。この実現に向けて、家電・産業機器や自動車・鉄道、変電設備などにおいて**効率的な電気エネルギー制御・変換に優れたパワーデバイス**を活用した省エネ化の推進が求められる。

現在のパワーデバイス材料は、Si半導体からデバイス性能向上に適したSiC、GaN、ダイヤモンドなどのワイドギャップ半導体へ急速にシフトしており、SiC・GaNの一部では商用化も始まっている。ダイヤモンドは、高い絶縁破壊電界とキャリア移動度などの材料物性に基づく低い電力損失動作(Siに対して **$1/52000$ の電力損失**)が可能であり、ポストSiC・GaN世代を担う**究極のパワーデバイス材料**として本格的なデバイス開発に向けた研究の加速化・ブレークスルーが求められる。

②目的

本研究の目的は、次世代の省エネ型社会を指向した**超低損失ダイヤモンドパワーデバイスの実現**である。そのためにはダイヤモンドの①**オン状態の損失削減**に向けた超高密度キャリアの誘起(オン抵抗を大幅に低減・一度に大電流を供給できる)、②**パワーデバイス応用に必須なノーマリオフ動作化**(オフ状態の電流損失をゼロ・待機電力を削減できる)という本質的・技術的な課題を乗り越える必要がある。

上記課題の解決策として、**強誘電体VDF-TrFE**の巨大分極誘起を利用した、ダイヤモンドの超高密度キャリア誘起ならびに完全ノーマリオフ型FETの創出を提案する。具体的にはVDF-TrFE/ダイヤモンドヘテロ構造を用い、電界効果による超高密度キャリア誘起を実現する。さらに、VDF-TrFEの自発分極(消えない分極)を利用したダイヤモンドFETの完全ノーマリオフ動作を実証する(図1参照)。

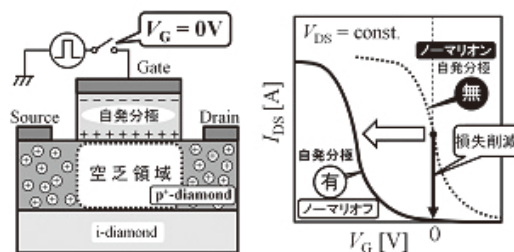


図1. 課題②に対する解決策(完全ノーマリオフ動作化・オフ状態の電流損失ゼロ化)の概念図

③学術的な独自性と意義

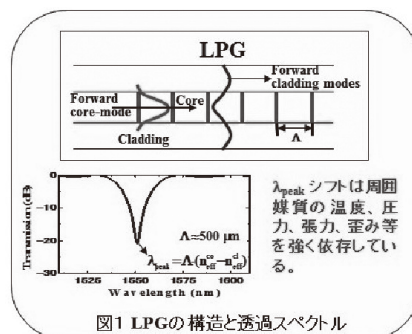
本研究の独自性は、VDF-TrFE/ダイヤモンドヘテロ構造を足掛かりに、ダイヤモンドの本質的課題を根本から解決するMFS(Metal-Ferroelectric-Semiconductor)型FETの創出にある。これにより、high-kゲート絶縁膜を用いた従来研究(J. Elect. Mater., 40(2011)247)の100倍超である **10^{14}cm^{-2} レベルの高密度キャリアが誘起され、オン抵抗も大幅な低減が可能となる**。また、VDF-TrFEの自発分極を利用したダイヤモンドチャネルのゼロ電圧制御は、技術的な課題(選択ドーピングやリセスゲート形成など)の多い**ダイヤモンドFETのノーマリオフ動作化に対して従来研究には無い独自の解**であり、学術的な価値は高い。

④期待される成果と発展性

期待される成果として、ダイヤモンドパワーFETの本質的・技術的課題の解決がある。現在用いられている国内のパワーデバイスの5%がダイヤモンドに置き換われば、**100万kW級の原発6基分の発電量に相当する電力使用量の削減が可能である**。さらに、従来は消えないメモリとしての利用が中心であった強誘電体を「深い準位にあるキャリアを誘起・制御する基幹部」として活用する、これまで想定されていなかった**強誘電体の新たな利用法の提案であり、両分野を跨ぐ学際領域に対する研究の発展が期待できる**。

①背景

光ファイバのコア部分に周期的な(数百 μm 程度)屈折率変化を与えた長周期ファイバグレーティング(LPG)は、光ファイバ・センシングシステムや波長多重(WDM)光通信システム等に不可欠な光デバイスである。**長周期ファイバグレーティング (LPG)**は図1に示すような特定の波長領域のみ損失を与える、光フィルタ機能を有するものであり、波長阻止帯フィルタ、ファイバ増幅の利得平坦器、光スイッチ、光任意波形発生器等光通信システムに幅広く応用された。一方、LBGは本来強くセンシング機能を持つデバイスであり、透過スペクトルの波長変化(図1: λ_{peak} のシフト量)により、LPGと埋め込んだ構造物や材料の温度、圧力、張力、歪み変化などが測定でき、過去数十年間に土木工学、石油・ガス産業、電気エネルギー、航空宇宙機等分野に幅広く応用された。最近では、LPG系ファイバセンサーは小型化、軽量化、微量測定(高感度)などが可能となり、生命科学、環境診断学等でかなりの注目を集めており、抗体、核酸、農薬、他の小分子を含む様々な種類の生物学的試薬を検知する応用を見出すと期待されている。その原理は外部の検知対象と、LPGのクラッドモード部分相互に作用しているエバネッセント波に基づき、周囲媒質の屈折率変化量はLPG透過スペクトル波長の変化量に直接関連している。しかしながら、通常のLPGは波長シフト/屈折率変化の感度が極めて小さく、上記の方法は波長シフトの微小量を精確に測定するため、より高い波長分解能を有する光スペクトルアナライザー(OSA)または広帯域光源等が望まれるが、そのデバイスは大変複雑かつ高価であり、更に波長走査は極めて低効率(低速度)なので、**検知対象の微小量変化かつ高速の測定は不可能である**。現状では、従来のLPGデバイス及び既存のLPGセンシング技術をさらに**小型化、超高感度化かつ高速化することが強く求められている**。



②目的

申請者らはこれまでに、 CO_2 レーザを用いて3cm程度の短いファイバ中に螺旋状LPGの作製及びその歪み・ねじれセンサーへの応用を初めて実現した。本研究では、このような高性能LPGの作製技術を更に発展させ、**高比屈折率差(Δ)を有する光ナノファイバを用い、特別な三角形スペクトル(エッジフィルタ)しかも広帯域特性を有する螺旋状ナノLPGの新しい設計法と作製法を提案し、そして小型、安価、高性能光ファイバフィルタ及び超高感度・超高速光センシングデバイスへの実現を目指す。**

③学術的な独自性意義

本研究は全く新しい試みである。光ナノLPGを用いた光エッジフィルタに関する**理論的、実験的研究は今まで皆無**であり、学術的にも価値があると確信している。提案したナノLPG系のセンサーの感度は既存のLPGセンシングシステムと比較すると、**数桁以上に増加することが予想できる**。また本研究で提案するナノLPGセンシングシステムは、波長シフト量の測定ではなく、**光パワー(強度)を被測定対象とするので、他の技術と比較して、全てファイバで構成されることにより、安価、小型化、低い挿入損失、光通信の波長1.5 μm 帯を利用でき、測定の超高速化、超高感度化などの利点がある。**

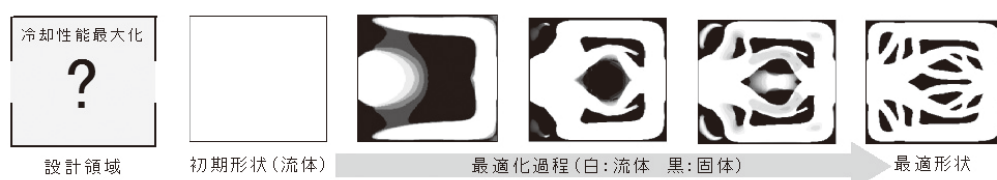
④期待される成果と発展性

本研究で提案するナノLPGを更に工夫すると、新たなスーパーコンティニューム光源や光スイッチや全光学演算等次世代フォトニクスネットワークを構築するために不可欠な光デバイスへの応用も期待できる。螺旋状ナノLPGの研究は世界中で初めてであり、成功すれば、**高感度・超高速ファイバセンシング分野だけではなく、超高速光通信ネットワークなどの分野へも大きな波及効果が考えられる。**

①背景

構造最適化は、数値解析によって構造物の最適な形状を創成する数理的最適化手法である。中でもトポロジー最適化は、形状と穴の数といった形態を変更可能とする最も自由度の高い構造最適化手法である。近年、トポロジー最適化は構造物の剛性を向上させることを目的として、国内外の機械産業を中心に広まりつつある。

このような背景のもと、申請者は構造力学の枠組みを超えた取り組みとして、熱と流体を考慮したトポロジー最適化の研究に取り組んできた。下図は熱交換器の冷却性能最大化を目的とした解析例であり、図のような複雑な流路形状でさえも、設計者の試行錯誤に依存することなく統一的に創出することができる。



一方でトポロジー最適化は、最適解の探索に物理場の解析を何度も繰り返す必要があるため、一度の解析に膨大な計算資源を要する問題への展開は難しい。事実、世界のほとんどの研究グループは単純な二次元領域を対象とした研究に留まっている。今後、トポロジー最適化の適用が期待される研究課題は、三次元の流れ場のように複雑な解析を要する問題への展開、ならびに、大規模な設計空間における最適解の探索が考えられる。

②目的

本研究では、これまでに申請者が構築した方法論をもとに、超並列計算機を援用した大規模トポロジー最適設計法の構築を行い、以下の事項の達成を目的とする。

- 三次元領域における高レイノルズ数熱流体問題を対象とした方法論への展開
- 複数の評価関数を考慮した多目的トポロジー最適化におけるパレート解分析とビッグデータ処理の融合

③学術的な独自性と意義

トポロジー最適化に関する研究は構造力学問題を中心に発展しており、機械産業を中心に機器の高性能化を実現している。しかし、流体関連分野を対象とした研究は未だ基礎研究の域を出ない。これに対し本研究の特色は、超並列計算機を援用することで、複雑な流れ場の最適化問題への展開を目指している点である。加えてビッグデータ処理の実装により、大規模設計空間を効率的に探索することで革新的な設計案の創出を目的としており、トポロジー最適化の工学的応用展開として非常に独創的かつ有意義な研究といえる。

④期待される成果と発展性

本研究は、複雑かつ大規模なトポロジー最適化問題を解くための重要な基盤研究となる。これは、流体関連分野を対象としたトポロジー最適化の先駆的な試みであると共に、その応用展開は流路設計に留まらない。例として、乱流のように複雑な高レイノルズ数流れを扱うことができれば、揚抗比最大化を目的とした飛行機の翼設計、発電性能最大化を目的とした風力発電用ブレードの形状設計、さらには水泳競技やスキージャンプといった流体と密接に関わりのある競技におけるスポーツ用具の最適設計などへの応用も期待できる。将来的にこのような最適化問題への発展も視野に入れながら研究を遂行して予定である。

柔軟かつ高効率なネットワークの実現を目的とした 全光変調フォーマット変換による適応変復調技術の研究

研究者 徳島大学大学院理工学研究部 助教 岸 川 博 紀

① 背景(内外における当該分野の動向)

【通信トラヒックの状況とネットワークに対する要求条件】

我が国の通信トラヒックの状況は、総務省報道資料を引用すると2015年11月時点の総ダウンロードトラヒックは前年比52.8%増の約5.4Tbpsと年々増加している。またトラヒックの変動も大きくなっており、2015年11月時点の昼夜のダウンロードトラヒック変動は約2.5Tbpsで2年前に比べ2倍に到達している。このような通信を支えるネットワークへの要求条件として、更なる大容量化に加え、トラヒック変動に対応する柔軟性を持たせ、高効率に運用することが求められる。

【実現技術と課題】

大容量化と柔軟性、高効率性の実現技術としてエラスティック光ネットワーク技術[1]がある。所望の伝送容量や伝送距離に応じて光信号の変調フォーマットを最適化する適応変復調技術により、波長資源を有効活用し周波数利用効率を向上させ、大容量かつ高効率なネットワークが実現できる。一方で適応変復調技術の実現には課題があり、あらゆる変調方式に対応する送受信機LSIはコストや消費電力が問題となること、ネットワークのすべての送信・受信・中継ノードに導入するには非効率であること、また既存の固定変調フォーマットの伝送装置を有効活用しつつ導入すること、などの解決すべき事項がある。

② 目的(課題設定とねらい)

本研究では、上記課題を解決するため変調フォーマット変換技術を確立することを目的とする。本変換技術が確立できれば、既存の伝送装置を新規に置き換えることなく、必要なノードに適材適所に配置することで、所望の変調フォーマットによる光伝送が実現可能になる。

③ 学術的な独自性と意義

従来法は高非線形ファイバや半導体光増幅器中の非線形光学効果を用いた制御が行われており、消費電力の問題や装置の複雑化といった問題があったが、我々がこれまで提案している変換技術は、従来法と異なり受動デバイスで構成する簡易な変換技術であり、省電力かつ高効率である点に特色がある。本研究で技術確立を目指す400ギガ・1テラ級伝送に適した直交振幅変調(QAM: Quadrature Amplitude Modulation)に関する変換法にもこの特色を活かした技術を導入し、新規性と独創性を兼ね備えた変換技術を確立する。

④ 期待される成果と発展性

本研究の変調フォーマット変換技術が結実すると、所望の伝送容量や伝送距離に応じて光信号の変調フォーマットを最適化する適応変復調技術が確立でき、大容量かつ高効率なエラスティック光ネットワークが実現可能となる。また本技術を異なるネットワークを結ぶゲートウェイノードに配置することで、各ネットワークで個別最適化されている変調フォーマットにも柔軟に対応し、電氣的な処理を解さずにそれらのネットワークを跨ぐ通信も実現可能になる。

[1] 盛岡 他, 将来の革新的光トランスポートネットワーク技術, NTT技術ジャーナル, Vol.23, No.3, pp.32-36, 2011年3月.

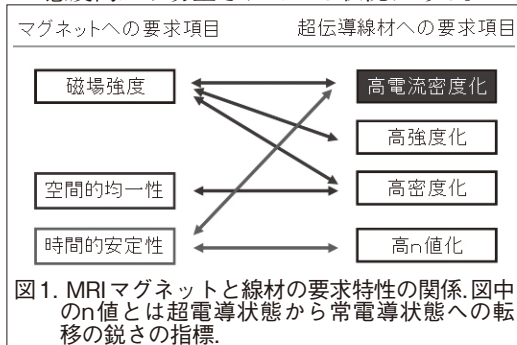
高解像度MRI診断デバイス開発を志向した 超伝導マグネット材料のナノ組織制御技術の開発

研究者 九州大学大学院工学研究院 准教授 寺 西 亮

①背景

Magnetic Resonance Imaging(MRI)は、水素原子 $1H$ の核磁気共鳴信号を利用して生体内の情報を画像化する手法であり、MRI装置には電気抵抗ゼロで大電流を流せる超伝導線材コイルによるマグネットが用いられている。医療用MRIでは、患者は放射線を被爆することなく安全に検査を受けられ、そのうえ、外科や脳神経外科領域では初期の微小な病変や脳梗塞あるいは脳動脈瘤を診断でき、整形外科領域ではレントゲン写真で観察できない解析や診断が可能であるため、病気の早期発見や予防による健康増進などMRIの重要性が高まってきている。その一方、Computer Tomography(CT)に比べて一般的に検査時間が長いことが問題となっているほか、腹部や肺等においては息を止めての限られた診断時間内では画像解像度が低く情報量が限られてしまう課題があり、現在、MRIの感度向上が切望されている状況にある。

MRIの感度向上にはマグネットの性能向上が必要であり、それは超伝導線材の性能に依存する。図1は、マグネットおよび超伝導線材への要求項目と各項目の相関を示す。マグネットの「磁場強度」はMRIの解像度を、「空間的均一性」および「時間的安定性」はMRIの信号量やノイズ比を決定する因子であり、図中の相関性から、超伝導線材の臨界電流密度(単位面積あたりに電気抵抗ゼロで流せる電流値の上限)を高性能化することができればMRIの感度向上が実現できることが示される。



②目的

超伝導線材をコイル化して通電すると磁場が発生するが、発生した磁場(磁束)は超伝導線材自身に進入し、磁束が進入した状態で通電すると試料に入り込んだ磁束にローレンツ力が働くことで磁束が運動し、電気抵抗が生じて通電性能が低下してしまう。このことが、MRIの高性能化に要求される十分な電流密度性能を有するマグネットがこれまで得られていない原因である。本研究では、磁束の運動をピン止めして抑制する非超伝導体を超伝導線材中に人工的に導入し、超伝導線材の磁場中での電流密度を向上させることを研究目的とする。

③学術的な独自性と意義

これまでの国内外の研究から、磁束ピン止め点の導入により超伝導線材の電流密度を高性能化できることが分かってきているが、ピン止め点をナノサイズで且つ適切な形状や分散状態で導入するには至っていない。その理由は、ピン止め点を導入した薄膜の成長メカニズムを十分に理解できておらず成長制御できていないためである。そこで、本研究ではピン止め点の成長機構を明らかとし、条件を制御して薄膜成長させる技術を構築する。具体的には、後述する「ピン止め点が母相の成長を抑制する効果」と「母相の成長界面前方でのピン止め点の濃化」の2つの独創的な観点から考察し、成長の支配因子を究明する。得られる知見は、超伝導材料のみならず他の機能材料にも適用可能な技術となり得るため、本研究は材料科学の進展に貢献できると考える。

④期待される成果と発展性

学術的には、これまで明らかとなっていない超伝導薄膜中での磁束ピン止め点の成長メカニズムを明らかにできることが期待される。また工学的には、メカニズム解明により磁束を効果的にピン止めできる超伝導線材を作製することによって、MRIの感度を飛躍的に向上できると期待される。本研究で得られる知見は、NMRやリニアモーターカーなどへの超伝導マグネット材料の作製技術へ展開できる可能性がある。

①背景

1つの天体の重力のもとでの運動を考える2体問題に対して、重力を及ぼす天体が2つ以上の問題は多体問題とよばれる。2001年にNASAにより打ち上げられたジェネシスミッションでは多体力学系の性質を積極的に利用することで効率的な軌道が実現され、2体問題では実現しえない特殊かつ有用な軌道が存在することが明らかとなった。ジェネシスでは人工的な推力は考慮されていないが、近年「はやぶさ」に搭載されたイオンエンジンに代表される低推力連続加速を行う宇宙機(以下、低推力宇宙機)が増加している。しかしながら、従来軌道工学で対象としてきた天体の重力の他に、常に人工的な推力が加わる運動となるため、これまでの軌道工学の理論を適用することができない。さらに、従来の化学推進によるインパルス型の推力に比べ、推力がとても小さく軌道を大きくかえることができないため、複雑な多周回軌道を設計する必要があるが、一般的な方法がなく試行錯誤により設計が行われている。図1に過去に申請者が設計した低推力宇宙機の軌道の例を示す。

②目的

多体力学系と低推力宇宙機が組み合わさった問題は非常に複雑な問題であるが、これらを同時に考慮することで軌道設計の自由度は格段にあがる。本研究の目的は、最適制御理論の考え方を多体力学系のダイナミクスと融合することで、宇宙空間において低推力宇宙機が惑星の重力と低推力を効率よく利用し惑星間を自由に行き来するための軌道制御理論を提案し、その基礎的な解析を行うことである。

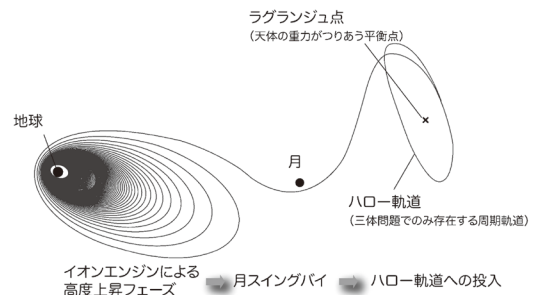


図1 多体力学系と低推力の組み合わさった軌道の例

③学術的な独自性と意義

多体力学系と低推力宇宙機が組み合わさった場合はさらに複雑な問題であるが、低推力が盛んに使われるようになった現在、軌道工学のもっとも重要な問題である。しかしながら、現在のこの問題に対するアプローチは数値的な手法が主な手段である。本研究では最適制御理論の解を用いた解析的なアプローチをとることで、個々の最適軌道ではなく、その背後に存在する最適に制御された力学系の構造そのものとの関係を明らかにする。申請者はこれまでに、最適制御理論を用いた解析により、多体力学系における低推力宇宙機の軌道について独自の知見を得てきた。本研究では、その過程で着想を得た「惑星間ハイウェイ」の提案へ向けた研究であり、独自の価値を有する。

④期待される成果と発展性

本研究の課題がすべて達成されると、多体力学系の低推力宇宙機の軌道を設計する理論的な基礎とそれを計算機上で求めるための計算ツールが完成することになる。また、さらに非線形性を考慮することで、宇宙空間において低推力宇宙機が惑星の重力と低推力を効率よく利用し惑星間を自由に行き来するための惑星間ハイウェイの研究につながる。

超伝導加速器の省エネルギー化に向けた、空間的温度勾配下の 超伝導転移が示す磁束トラップ低減現象の研究

研究者 総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科 助教 久 保 毅 幸

①背景(内外における当該分野の動向)

超伝導加速空洞は現代の粒子加速器の核となる構成要素であり、国際協力による建設が検討されている素粒子実験用高エネルギー加速器国際リニアコライダーや次世代の医療用加速器等においても使用されるものである。大きさ $O(10)$ cmの空洞内部には共鳴周波数(~ 1 GHz)のマイクロ波が閉じ込められており、空洞を通過する荷電粒子は、その電場成分により加速される。空洞性能を示す重要なパラメーターの一つに「超伝導マイクロ波表面抵抗 R_s 」がある。 R_s は二つの成分から成る。一つ目は励起準粒子のマイクロ波吸収に起因する抵抗でBCS抵抗と呼ばれる。これは温度 T に指数関数的に依存し $T \rightarrow 0$ Kで消失する。もう一つは残留抵抗と呼ばれ、その名の通り $T \rightarrow 0$ Kにおいても残る抵抗である。運転のために加速空洞が冷却され超伝導に転移する際、環境磁場が「量子化磁束」の形で超伝導材料内の欠陥にトラップされる。加速空洞にマイクロ波を入れると、トラップされた磁束がマイクロ波の振動数で弾性的に振動・発熱し損失に寄与する。これが残留抵抗の主な起源である。現在は磁気シールドで環境磁場を遮蔽し、トラップされる磁束をできるだけ減らしているが、それでも残留磁場は $O(10^{-1})$ - $O(1)$ μ T程度存在し、これらがトラップされることで $O(1)$ - $O(10)$ n Ω 程度の寄与を生む。現状ではトラップされた磁束による寄与が R_s (2K)の数十%、場合によっては殆ど全てを担っている。磁束トラップの低減は、超伝導空洞研究の最も重要な課題の一つである。

2014年、磁束トラップ低減の研究において大きな前進があった。米国エネルギー省フェルミ研究所のロマネンコ氏が、超伝導空洞を大きな空間的温度勾配下(10-100 K/m)で冷却する事によって超伝導転移時の磁束トラップを大幅に低減できる事を発見した[1]。その後、コーネル大学や米国エネルギー省トーマス・ジェファソン研究所においても超伝導空洞を用いた同様の試験が行われ、同じ現象が確認されている。しかしながら、この現象の物理は未だ殆ど理解されていない。申請者が提案したモデル[2]が唯一のモデルである。このモデルは磁束トラップの低減を研究している米国の研究者達に高く評価されているが、材料の性質はフリーパラメーターに押込められており、熱処理や表面処理への依存性や純度に対する依存性等、分からない点が多数ある。

②目的(課題設定とねらい)

本研究の目的は「空間的温度勾配下での冷却による磁束トラップ低減の物理」の理解を深める事である。この現象の理解が進めば、磁束トラップを低減するための更に優れた方法の開発、それによる超伝導空洞の表面損失の大幅な低減に繋がると期待される。これは素粒子実験及び医療用加速器の省エネルギー化に資する。

③学術的な独自性と意義

本研究では、小型デュワー、高感度の磁場センサー、ヒーター、そしてGM冷凍機を組み合わせ、数cmサイズの試験片を用いた実験を行う。このセットアップにより、他の研究所が行っているような空洞を用いた実験ではできない事が可能となる。空洞を用いた実験では、材料依存を調べるために様々な材料で空洞を製作する必要があるが、これはコスト的に全く現実的でない。更に窒化ニオブのようなニオブに代わる材料では、空洞の製作方法すら確立しておらず、実験そのものが不可能である。しかし試験片による実験であれば、空洞の製作コストや材料費を大幅に削減するとともに新規材料を含む多種多様な材料を用いた実験が可能となる。また現在は、実験の度に大きなデュワー(直径約500mm、深さ約4m)にクレーンを使って空洞を入れ、約二千リットルの液体ヘリウムをデュワーに流し込むことで冷却している状況であるが、GM冷凍機を使って小さな試験片を冷却するなら、冷却の手間を大幅に省くことができ、多数回の実験による統計の蓄積が可能となる。これにより、温度勾配を用いた磁束トラップ低減における材料依存、熱処理や表面処理依存を定量的に調べることができ、これにより、磁束トラップ低減の物理に迫るためのヒントが得られる。

④期待される成果と発展性

現象の理解が進めば、超伝導空洞製作時の材料に対する要求や冷却方法等、磁束トラップを低減するための細かな条件を把握でき、定常的に小さな R_s を実現できるようになる。これにより、国際リニアコライダーを始めとする素粒子実験用の高エネルギー粒子加速器や将来の医療用加速器における空洞表面損失の大幅な(50%以上)軽減が可能となる。

研究成果の他分野への波及も期待される。単一磁束量子回路と呼ばれる超伝導デジタル回路においても磁束トラップが問題となっている。トラップされた磁束が回路の誤動作を引き起こすからである。ある一定の確率で磁束がトラップされるとすれば、磁束が全くトラップされない確率は回路の大規模化に伴い指数関数的に減少する。回路が正常に動作する確率が指数関数的に減少すると言い換えても良い。本研究の成果は、単一磁束量子回路を始めとする次世代の超伝導デバイス等、他分野に応用されることも期待される。

[1] A. Romanenko et al., Applied Physics Letters, **105**, 234103 (2014).

[2] T. Kubo, to be published in Progress of Theoretical and Experimental Physics.

人工知能によるカラスの音声分類とそのデータベース自動構築 および対話用インタフェースの開発

研究者 総合研究大学院大学学融合推進センター 助教 塚 原 直 樹

①背景(内外における当該分野の動向)

カラスによる農作物被害は約21億ある(農林水産省 2012)他、配電トラブルや、糞害や騒音など多くの被害が報告されている。これら被害を防ぐため、様々な対策がなされているが、効果が一時的であるなど、多くが未だ解決には至っていない。一方、カラスは鳴き声をコミュニケーション手段とした社会性の高い動物である(相馬ら 2003)。例えばカラスは鳴き声をもとに、見知らぬ個体が既知の個体かを判別することがわかっている(Kondoら 2012)。よって鳴き声を用いれば、カラスの行動制御が可能となるかもしれない。そこで申請者らは鳴き声を用いたカラス対策として、カラスが逃避する際の鳴き声をカラスに向かって再生し、カラスの逃避を促す対策法を考案した(塚原ら 特許第5135507号)。しかしながらこれまでの鳴き声による対策は、状況によっては効果が確認できないことがあった(Tsukaharaら 2015)。

②目的(課題設定とねらい)

これまでの鳴き声による対策法の効果が完全でない理由の一つに、一方通行の音声再生であり、双方向の対話となっていないことが挙げられる。賢いカラスであるからこそ、インタラクティブな対応がカラスの行動をコントロールできる鍵となると思われる。そこでカラスとの双方向の音声コミュニケーションを行うための仕組みを構築することが本申請の狙いである。まずは、音声センサー付きIoT機器によりカラスの音声を記録したデータクラスターを、深層学習技術を用いること解析・分類し、自動的にカラスの音声のデータベース構築を行う。そして、自動的に構築更新されるデータベースを学習データとしてカラスの音声を自動認識・再出力することで、対話性の乏しかった従来の音声による忌避装置に替わり、カラスの音声コミュニケーションの文脈沿った音声フィードバックを提示することで、効果的にカラスの行動の制御を行う。

③学術的な独自性と意義

本研究では、人工知能などの情報技術を活用することで、音声を始めとするカラスの行動を自動的に記録・解析分類することで、カラスの音声を理解し対話を試みることで、より効果的な行動制御を行う点に独自性がある。また、カラスの様々な行動が深層学習によって詳細に認識・理解されることで、人間の生活圏に広く生息するカラスをセンサープローブとした環境センシングが可能になるなど、情報技術を介した新しい人間と動物のインタラクション研究の端緒が開かれる意義がある。

④期待される成果と発展性

本研究課題の解決により、カラスの行動のコントロールが可能となる可能性が高い。それにより、これまで困難であったカラス被害の軽減が可能となり、経済的損失のカバー、カラスが引き起こす社会問題の解決、新たなカラス対策事業の創出など、社会的意義は高い。また、鳴き声のバリエーションの多さから解析が困難であったカラスの音声コミュニケーションについて、本技術により解明に近づける可能性が高い。それにより鳥類の生態把握につながり、学術的意義が高い研究成果が期待できる。ディープラーニングをはじめの人工知能アルゴリズムは、対象の特徴の多寡が解析結果の質を左右することが多い。カラスという人間に身近でかつ(特に実害を被っている当事者から)音声収集インタフェースなどの設置や運用について協力や理解が得られやすいことは、人工知能技術研究の適用先として、大きなアドバンテージと結果が期待できる。また、ビッグデータ解析の利点として、単調なデータでも大量に集めることで、これまで把握することが不可能な環境変化を可視化できる可能性や、その変数をカラス(生体)に求めることなど、センサーネットワークや実世界志向インタフェース研究の分野への貢献が期待できる。

①背景

今日までの磁性研究は、遷移金属元素や希土類元素から成る無機磁性体が主流となって発展を遂げてきた。無機磁性体は100種類程度の元素が構成ユニットであるため、多くの物質を作り出すことは非常に困難である。また、合成条件として高温、高圧などの極限状態を必要とする場合が多く、技術的にも容易ではない。一方で、有機物は化学修飾の多様性により、今日までに数100万種類にも及ぶ膨大な数の人工的な有機分子の合成が報告されてきた。無機磁性体と比べてはるかに自由度が高く、莫大な数の磁性体を生み出すことができると期待されてきた。しかし、有機物の多様性を活用した新規磁性体の実現には、従来のラジカルにおいて弊害となってきた分子の特性を抑制する必要があった。最近申請者らは、フェルダジルラジカルの分構構造の柔軟性と分子軌道の拡張性を活用した高度な分子設計により、従来の常識を覆すペースで、多彩な新規磁性体の合成に次々と成功している[論文リスト]。このフェルダジルを舞台とした量子スピン系の研究は、国内外を通して他の追従を許さない進展を見せている。

②目的

本研究では、フェルダジルラジカルによって実現する多彩な量子磁気状態にキャリアをドーピングすることで、電気伝導性を発現させる。それによって、局在スピンの量子磁気状態と伝導電子との相関を解明するとともに、新しいタイプの有機磁性導体を開発する。そこで、フェルダジルラジカルをカチオン(ドナー)化させて、アニオンとの有機電荷移動塩を合成する。アニオンとの形成比、アニオンサイズ効果による化学圧力などを活用してバンド構造を制御することで、電気伝導性を制御する。フェルダジルラジカルによる磁気状態の設計性と組み合わせることで、磁気特性と電気伝導特性の双方を制御した革新的な有機磁性導体の構築を目指す。

③学術的な独自性と意義

近年の数値解析法と大規模計算技術の目覚ましい発展により、多種多様な量子磁気状態の発現と理解に向けた研究の期待が高まっている。ところが、近年の磁性体合成の現状はやや行き詰まり感があり、実験的なアプローチが大きく遅れをとっている。申請者はこれまでに、フェルダジルの特性を活用することで、従来の有機ラジカル系、さらには長い歴史を持つ無機磁性体でも報告例のない多種多様な量子スピンモデルを実現し、多彩な量子状態の形成を実証してきた。本研究では、そのようなフェルダジルラジカルが実現する多彩な量子状態に、伝導キャリアを取り込んで有機磁性導体を構築する、という独創的なアイディアである。それらの物性測定を通して、量子磁気状態と伝導電子との相関に関する知見が得られる。磁気揺らぎと超伝導状態の相関を新たな側面から明らかにすることも期待できる重要な研究であり、先駆的な研究を推し進める必要がある。

④期待される成果と発展性

フェルダジルラジカル圧倒的な設計性によって、多彩な量子磁気状態を備えた新たな有機磁性導体の開発が可能になり、量子磁性と伝導電子との相関が明らかになる。酸化物高温超電導体の母胎となる正方格子系の形成も可能であり、キャリアドーピングによる超伝導発現も期待できる。さらには、磁性と伝導性の発展的融合による磁性半導体、磁性金属、磁性超伝導体の実現も期待される。磁性と伝導の相関が発現させる近藤効果や負の磁気抵抗などの現象に着目し、キャリア-スピン相互作用を評価することは、エレクトロニクスにとどまらずスピントロニクスへの応用展開も期待でき、その波及効果は計り知れない。磁気状態と伝導状態の双方において設計性を有する革新的な物質設計を実証することで、物質開発における新たな潮流を生むと期待できる。

研究者 日本大学理工学部 助手 永 田 知 子

イオンではなく電子の極性分布に起因する“電子型強誘電体” YbFe_2O_4 の単相強誘電相薄膜を、独創的な手法であるインターバル・デポジション法を用いて作製し、革新的な超高速(THz)応答・超省エネ(10nV)強誘電・強磁性素子のプロトタイプを作製する。

①＜背景＞ 新規研究分野「電子型強誘電体」の混乱要因「反強誘電相の排除」が必須課題

2005年、新規な性質“電子型強誘電性”が RFe_2O_4 (R: 希土類)について提案された。 Fe^{2+} と Fe^{3+} の極性な配列が強誘電性を生じるというものである¹。“電子型強誘電性”が注目を集める要因は、全く新しい原理であるという基礎的魅力に加え、Feイオンが電荷秩序と同時に強磁性的秩序を形成することによる強誘電強磁性素子への応用可能性である。しかしこの提案に対し近年、反強誘電体であるとか、誘電性すらないとの主張もあり、電子型強誘電性の本質どころかその存在すら共通の理解に至っていない。

申請者は、 YbFe_2O_4 が強誘電相を持つことを世界に先駆けて証明し、この起源がFeイオンの電荷秩序にあることを明らかにした。しかし強誘電電荷秩序相と反強誘電電荷秩序相が共存することも発見し、バルクでは90%以上が反強誘電相であること、これが議論混乱の原因であることを明らかにした。したがって、反強誘電相の成長を抑えること、つまり強誘電相のみの RFe_2O_4 の作製条件の確立が必須で緊急の課題である。

¹ N. Ikeda *et al.*, *Nature(London)* **436** 1136 (2005).

②＜目的＞ 強誘電相のみの YbFe_2O_4 の作製方法の確立(薄膜化)

バルクでは困難だが、以下2つの工夫を用いて薄膜化することで実現する。(1)インターバル・デポジション法：1ユニットの薄膜を堆積後、数十秒の時間間隔を開けると、価数が最も中性に近い面が最表面となる。 YbFe_2O_4 の場合、電気分極のマイナス側を担う面が最表面、その下がプラス側を担う面となることが安定であるため、強誘電的に電気分極が積層した薄膜を作製できる。(2)格子縮小をもたらすYSZ基板：強誘電相では積層方向に必ず Fe^{2+} と Fe^{3+} が近接するのにに対し、反強誘電相では Fe^{2+} 同士が近接する。 Fe^{2+} のイオン半径は Fe^{3+} より約20%も大きいいため、積層方向の格子を縮小することで強誘電相を安定にすることができる。

③＜学術的な独創性と意義＞ 議論の単純化を可能にし電子型強誘電体研究分野を確立する

電子型強誘電性研究はこれまで全てバルクで行われてきた。つまり、強誘電相と反強誘電相の特性が重畳したデータから強誘電相の特性を抜き出す方針で行われており、非常に複雑なため世界的に共通の理解は得られていない。本研究は、強誘電相のみの特性評価を可能にするので、電子型強誘電性という新規研究分野を整理し、確固たる研究分野として世界に認識させるものである。

④＜期待される成果と発展性＞ 純粋な電子型強誘電体の作製方法を確立することで、革新的素子

「超高速(THz)応答・超省エネ(10nV)マルチフェロイック素子」開発への道を開く

本物質はイオンでなく電子の移動のみで強誘電性を発現するため、従来の強誘電体とは異なる以下3つの利点を持つ。(1)電荷秩序はTHzオーダーで融解・再形成するため、超高速分極反転が可能である。(2)極微小電流($1\mu\text{A}/\text{cm}^2$)により電荷秩序が融解し非線形伝導を示すため、100nm薄膜の場合10nVで応答する。(3)Feイオンが電荷秩序と同時に強磁性的秩序も形成するため、格子を介さない直接の電気磁気効果を示す。これらの特性は、 YbFe_2O_4 が革新的素子「超高速応答・超省エネ強誘電強磁性素子」の実現に不可欠であることを意味する。

①背景

表面テクスチャリングは、表面の幾何形状を制御して新しい機能を発現させる材料表面改質技術の一種であり、主に表面の流体抵抗低減やぬれ性の制御、光の反射・吸収特性を改善する目的で用いられてきた。近年、この手法は機械の摩擦面にも適用が試みられており、凹部に潤滑油を保持することで、流体潤滑状態を維持できる作動条件の拡大、潤滑油切れによる焼付き防止、摩耗紛やその他異物の補足による更なる摩擦面損傷の回避、などが期待されている。従来は、表面テクスチャリングの生成にレーザー微細加工やエッチング加工などが用いられているが、

- 1) 面積の広い摩擦面に均質に多数の高精度加工が必要である。
- 2) 母材に直接加工することから、摩耗に代表される表面損傷が生じると機能が損なわれる(安定しない)。といった問題が指摘されている。

以上のような現状を踏まえ、本研究では、SiC、ナノダイヤモンド、カーボンナノチューブといった微細粒子を分散共析させた、無電解複合めっき法を用いて、摩擦表面に厚さ数 μm 程度のパターンを生成し、表面テクスチャリングを実現するとともに、摩擦面における有効性を検討する。本研究により、

- 1) めっき法により、従来よりも低コストで均質な表面テクスチャリングを生成可能である。
- 2) 直接接触時にも潤滑性に優れためっきとすることで、低摩擦や低摩耗が期待できる。
- 3) 表面に損傷が生じた際にも、修復可能である。

といった利点を有する摩擦面の創生が期待できる。特に、**摩擦面に修復性というこれまでにない機能を与えることは極めて意義が大きい。**

②目的

めっき法による表面テクスチャリングの摩擦面での有効性について検討するために、以下の点に着目する。

- 1) 共析粒子の混合割合と表面テクスチャリング膜の機械的強度の関係を明らかにする。
- 2) 摩擦試験により、各種表面テクスチャリングの潤滑特性や摩擦摩耗特性を明らかにする。
- 3) 摩擦試験後の表面を修復し、テクスチャリング機能の回復が可能であるかどうかを検証する。

③学術的な独創性と意義

本研究では、材料自体に微細加工を施す方法ではなく、潤滑めっきを積層することで表面テクスチャリングを低コストで実現する。母材を“掘る”のではなく、母材に“積層する”という考え方は、シンプルであるが摩擦面に関しては新規性がある。この手法は、母材同士の接触を防げるため、めっきの種類を適切に選択すれば、直接接触時の低摩擦と耐摩耗が実現できる。さらに、テクスチャ部が損傷を受けても修復して機能を回復でき得るという新しい特性を付与することができれば、極めて意義が大きい。

④期待される成果と発展性

潤滑めっきはさまざまな材料表面に成膜可能であり、熱処理により硬化化も可能であるため、本研究の成果はさまざまな機械部品に広く適用することができる。また、本研究は摩擦面に修復性を持たせるという新しい挑戦であり、持続可能な社会の実現に貢献できると考えられる。

①背景

銅や銀のナノ粒子の製造が可能となり、高熱伝導率を有する銅や銀のナノ粒子は流体に混合されナノ流体として、熱輸送など工学的に応用され、注目されている。例えば、銀ナノ粒子分散系流体を熱輸送装置に応用した研究として、ヒートパイプ内に銀ナノ流体を封入し熱媒体として熱輸送する研究が行われている。また、銀ナノ流体のSelf-rewetting性に注目し、濡れ性によりマランゴニ対流を誘起し、熱輸送する研究が行われている。これらの研究では、ナノ流体の物性そのものに着目し、より高効率な熱輸送デバイスを研究開発するものである。申請者は固熱伝導率を有するナノ流体が引き起こす特異な現象を発見し、工学的に応用しようとするものであり、ナノ流体の分野では、流体の界面に注目し、流体現象の観点から熱輸送、また、界面駆動に関する研究は行われていないのが現状である。

②目的

本研究では、高熱伝導率を有するナノ流体を用いて、表面張力により引き起こされる界面不安定現象に着目したものであり、熱伝導が駆動力を引き起こす現象に着眼をしている。また、磁場を用いることにより、その駆動力および熱伝達特性を制御する新しい試みである。高熱伝導を有するナノ流体は界面における特異な現象の一つとして、表面張力の変化が挙げられる。つまり、高熱伝導率を有するナノ流体に小さな温度勾配を加えるだけで、表面張力が変化し、表面張力に誘起される自然対流が発生し、流体に駆動力を誘起させることが可能であると考えられる。そこで、本研究では、高熱伝導率を有するナノ流体の熱伝達特性の調査とその熱流動メカニズムの解明を目的とし、高熱伝導率を有する新しい熱輸送媒体の提案を行う。また、最終的に工学的応用として、高熱伝導率を有するナノ流体に磁性を付加し、磁場による制御を行う。

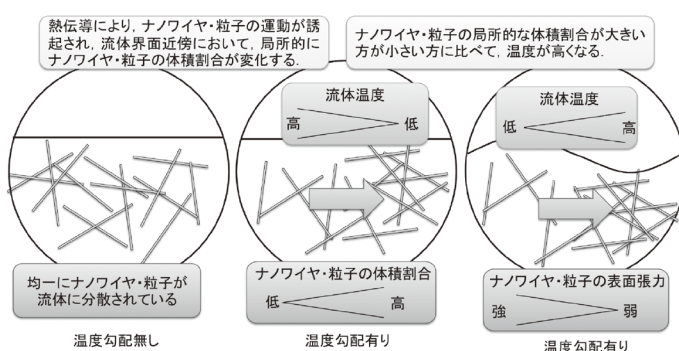


図1 ナノワイヤ・粒子の運動挙動

③学術的な独自性と意義

本研究は、高熱伝導率を有するナノ流体を用いた新しい熱伝達形態を提案、界面現象の解明さらに磁性によりエネルギーおよび運動量を制御するものであり、ナノ流体分野に革新的な技術を与えることが可能となる。また、流体力学、電磁気学、宇宙工学、数値流体力学など分野横断型・複合領域研究であり、学術・産業における横断的・学術的な分野の開拓ができる。

④期待される成果と発展性

小さな温度差で駆動力が得られる機構が解明されることにより、これまでになく小さな分解能を有する温度センサーの開発が可能になる。また、容易に駆動力が得られることから、ナノ粒子を添加することによる半導体生成など温度による物質輸送が可能となり、また、大きな対流効果を誘起できることから高効率な熱輸送装置の開発が可能になることなど工学的分野に及ぼす影響は非常に大きく、発展可能な研究である。

構造化照明を用いたフェムト秒・ナノメートルの 時空間分解能を有する超解像顕微鏡過渡吸収測定装置の開発

研究者 関西学院大学理工学部 助教 片 山 哲 郎

①背景

電子受容体分子と電子供与体分子が数十nm程度のサイズで不均一に相分離したバルクヘテロ構造を持つ有機系太陽電池では、実用化の一つの壁といわれた10%を超える光電変換効率(2012年,三菱化学)が報告されているが、いまだ実用化に至らず、光耐久性の問題と大面積化に伴う電化補足サイトによる光電変換効率の低下の問題を抱えている。申請者は室温から10 Kまで光伝導性高分子の電荷担体の捕捉過程を時間分解過渡吸収(電子)スペクトル測定 (PCCP, 2010, JPPA, 2011),また顕微鏡下の過渡吸収測定(CL, 2014)を行ってきたが、光学顕微鏡の回折限界以下の空間で捕捉と脱捕捉を熱平衡下で行う電荷担体の捕捉サイトは明らかにならなかった。しかし、ある程度の面積を持った現実の光電変換素子には、不均一性によって光劣化が生じやすい部位があり、電荷が捉えられやすい部位が存在する (Reese *et al.*, *Adv. Funct. Mater.* 2010)。ところが、どのような環境で光分解が生じるか、どのような状態の分子が電荷捕捉サイトとして振舞うのか、といった根本的な疑問点は未解明のままであり、光退色や電荷捕捉を抑えた試料を合成する明確な分子設計指針が存在していない。

②目的

既述のように産業的に有機系薄膜太陽電池が普及するためには、この局所的に捕捉された電荷状態や光退色状態に対する迅速な因子解明が必要となっている。これら局所的な反応ダイナミクスを明らかにするためには、時間・空間分解能を有する分光測定が有力な手法となる。そこで本研究では回折限界を超えた超解像過渡吸収顕微鏡を構築し、これら電荷の捕捉サイト、光退色サイトに関する知見を取得し光耐久性と大面積化に伴う光電変換効率の低下の問題を解決することを目的とする。本研究では回折限界以下(50 nm以下を目指す)の励起状態、電子状態ダイナミクスを観測可能とする顕微過渡吸収測定法を構築し、バルクヘテロ構造を持つ試料に対して応用し、微小空間電荷捕捉サイト、光退色サイトの反応因子を明らかにすることを目的とする。

③学術的な独自性と意義

これまでに超解像を用いた顕微過渡吸収測定は、共焦点型の飽和分光手法の1件の報告例(Wang *et al.*, *Nature photonics* 2014)のみである。構造化照明を用いた超解像顕微過渡吸収測定は国内外において研究例はない。また、実験計画の項で具体的に記すが構造化照明による顕微過渡吸収の報告例(CL, 2014)は申請者以外にない。また、過渡吸収分光手法に空間的な軸を与えることで、基礎化学の方法論の裾野を広げるだけでなく、既述の通り、実用化に耐える太陽電池のデバイス設計指針を提出するという応用的な観点からも重要である。

④期待される成果と発展性

本研究により回折限界を超えた光化学反応が観測可能となると、既述の通り、過渡吸収測定は励起状態のみでなく生成するカチオン、アニオン、ラジカルなどのすべての化学種を検出可能であるため、基礎化学の発展に大きく寄与する。また図1に示すようなDNAの一本鎖を観測可能とする超解像蛍光顕微鏡と同程度の空間分解能に到達すると過渡吸収測定で研究されてきた損傷DNAの光回復酵素反応のような生体内の電子移動反応の関係するクリプトクロム系酵素反応メカニズムの直接観測にも応用可能となる。したがって化学分野のみならず、医学に関する学術的な発展も促し、医薬品の産業に対する研究開発速度を促進することが期待される。

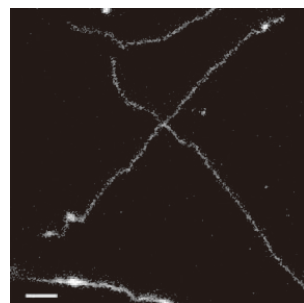


図1 超解像蛍光顕微鏡測定装置によるDNA鎖の観測例。スケールバーは1 μm 。(S.W. Hell *et al.*, *Angew. Chem.* 2011)

【背景】 超音波は、非侵襲的に体内の臓器や組織の形状をイメージングできることから、医用診断装置として既に広く応用されている。脳への超音波応用は、1949年にDussikが脳疾患の患者の診断に報告したのが最初と言われている。また、超音波を末梢神経の刺激法として利用する研究は、既に臨床応用の段階にあるが、超音波が神経活動を誘起する細胞レベルでの機序については、応用の開始から数えて70年弱が経過する現在も多くが不明のままである。特に、脳内の中枢神経細胞には、振動検出に特化した機械的受容器そのものは存在しないが、0.5 MHz前後の超音波によって脳内の神経活動が再現性良く誘発され、大脳皮質の運動野から末梢神経にその信号は伝達されることが報告されている。

「耳鳴り」は外界からの物理的音圧変動がない状態で生じる音知覚と定義され、臨床での主要な耳症状である。近年の調査に対して「耳鳴り」がすると答えた人の割合は、3.0%であり、65歳以上の年齢では6.6%にも及ぶ(平成26年厚生労働省「国民生活基礎調査」)。従来、耳鳴りは聴覚末梢系(特に内耳)に疾患原因があると考えられてきた(末梢起源説)。しかし、近年、耳鳴りには、中枢神経系が深く関与していることが次第に明らかになってきた(中枢起源説)。現在は、主に、(a)薬物療法、(b)音響療法、(c)電磁気刺激療法の3つが有用であるとされ、最初の2つ(a, b)が実際に臨床応用されており、最後の(c)は研究段階にある(図1)。この電磁気刺激療法(c)では、直流電気刺激療法と経頭蓋磁気刺激療法の2つが臨床応用に近い段階にはあるが、幾つかの問題点があり、日米両国で現在は認可されていない。

【目的】 本研究課題では、このような背景から、超音波を用いて非侵襲的に脳内の聴覚皮質を刺激し、シナプスの可塑性(長期抑圧)現象を利用して、「耳鳴り」に関連する神経活動の生起を抑制する方法とその細胞レベルでの機序を解明する。特に、その機序解明により、ミクロな細胞膜イオンチャネルの興奮特性とマクロな脳活動を結び付け、抑制の方策の本質的な理解を促進する生理学的な知見を得ることを本研究では目的としている。

【学術的な独創性と意義】 超音波刺激を用いた脳内回路網の可塑性修飾の機序が解明されれば、他の神経疾患に対しても同様に、異常な脳活動を抑制する有効な方法として応用が期待できる。末梢および中枢神経系に超音波刺激を応用する研究は、動物実験における適応例(特に末梢神経系)が1970代から知られている(Foster et al., 1978; Trisulnikov et al., 1988)。しかし、申請者の知る限り、耳疾患を治療する目的での研究結果は現時点では報告されておらず、本研究の成果が得られれば初の報告となる。また、ヒト運動野の機能を超音波刺激で代替する研究(Legon et al., 2014)が近年報告されており、脳活動の誘発方法として注目されるが、安全性の確認は今後の重要課題である。

【期待される成果と発展性】 「耳鳴り」は不快に思っているにもかかわらず加齢現象として扱われることが多く、積極的な治療が行われてこなかった背景がある。また、日本でも年々増加傾向にあることから、高齢化が進むに従って急速に罹患率が上昇すると予想される。本課題が提案する集束超音波を利用する脳刺激法は、増幅器の小型集積化で携帯可能なサイズの機器構成を実現できる可能性があり、通院に依らない日常的治療法として非常に適している。特に、寒冷地である北海道では、患者の通院機会を大幅に減らせる可能性があり、将来的に体の不自由な高齢者にも非常に有用な装置となり得る。体内の自律神経系や脳の情動系の制御には、主に薬剤投与を通じた体内ホルモンや神経伝達物質等を調節する方法が用いられ、現在もその重要性に変わりはない。しかし、従来型の薬理療法では有効な治療効果が得られない場合でも、パーキンソン病や精神疾患などの脳深部刺激治療法に代表される、体内埋め込み機器を用いた電気薬学の有用性が近年次第に明らかになってきた。こうした装置は、副作用が疑われる薬剤を利用せずに、症状を緩和する新たな方法として注目されている。また、経頭蓋磁気刺激法は、電氣的刺激法に代わる非侵襲的治療法として有望であるが、装置が大型であり、日常的治療に適さず、患者は頻繁に通院する必要がある。電磁氣的刺激法に代わる新たな神経刺激法として、本課題で取り組む超音波刺激法は有用な医療機器となると期待される。

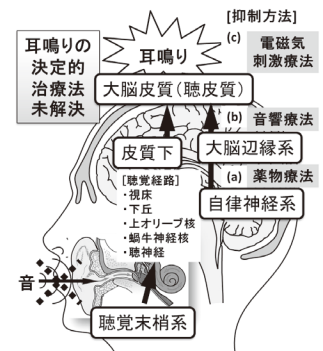


図1: 耳鳴り関連部位と抑制方法

①背景

爆発的な人口増大と国土面積の縮小に伴い、人類が近い将来必ず直面する課題の一つが「食料問題」であり、農作物の安定供給技術の開発は喫緊の課題となりつつある。そのためには、植物生理学の「分子レベルの理解」と、それを制御するための「分子標的農業の開発」が必要不可欠である。ただし、植物生理学を化学的な視点で理解・制御する試みは、驚くほどに進んでいない。動物細胞に比べ、実用植物では遺伝子組み換え技術が発展していないのに加えて、小分子化合物の植物細胞内での局在制御が困難であることが主な理由である。事実、カルシウムイオン等の生理活性物質を時空間的に可視化する市販の蛍光ケミカルセンサー群は、動物細胞では頻繁に利用されてきたものの、植物ではほとんど利用できないために、これが関わるシグナル伝達の解析が困難となっているのが現状である。

②目的(課題設定とねらい)

本申請では、カルシウムイオンなどの重要なセカンドメッセンジャー可視化ツールを、植物細胞内に効率よく導入できる方法論を開発し、特に植物の生育や分化等を制御する「植物ホルモン」の細胞内シグナル伝達メカニズムを解析することを目指す。これにより、植物生理学を化学的に解析するとともに、植物の生長・分化等を制御する基盤技術の構築が期待される。

③学術的な独自性と意義

神経・心臓・ガンの増殖等、動物細胞において最も重要なセカンドメッセンジャーとして認知されるカルシウムイオンでさえ、植物細胞で時空間的な解析が行われた例はわずかであり、それゆえに「植物における動的なシグナル伝達挙動」はほとんど解明されていないと言わざるを得ない。その要因は、植物細胞内でのケミカルセンサーの局在制御が困難であることから、これまでは蛍光・発光タンパク質を基体としたセンサーを用いた研究が主であったが、それらは遺伝子組み換えが確立されたモデル植物にしか適用できないため、遺伝子組み換えできない実用植物では解析できなかった。本申請で提案する「ケミカルセンサー」は、遺伝子組み換えを必要としないため、モデル植物に限定されず、食料供給に直結する実用植物でのシグナル伝達解析に貢献できる点で、全く新しいケミカルツールとなる可能性が高い。

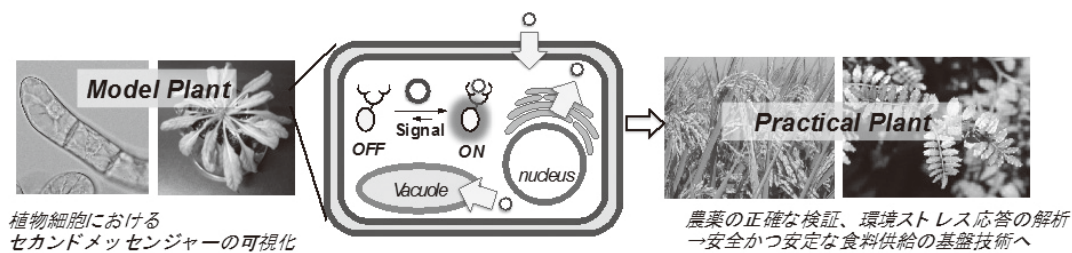


Figure 1. 植物細胞内セカンドメッセンジャーの動態解析と、実用植物への展開の模式図。

④期待される成果と発展性

本技術の確立により、植物ホルモンのような内的な生理活性物質がもたらす植物の生長制御メカニズムの解明だけでなく、植物ホルモンをベースとした農業による植物の生長促進、外的な環境ストレス耐性の付与など、植物生産に直結する解析技術となり、安全かつ安定な食料供給を行う基盤技術につながることを期待される。

数理モデルと脳活動計測による運動記憶形成過程・保持過程に関わる 脳内表象の解明とその応用

研究者 東京農工大学大学院工学研究院 特任准教授 瀧 山 健

① 背景 (内外における当該分野の動向):

高齢化社会、東京オリンピック開催が差し迫っている昨今、運動の上達過程(運動学習)に関する脳内機構の解明は急務である。運動学習はしばしば腕到達運動とバーチャルリアリティ(VR)環境を用いた実験系(Shadmehr & Mussa-Ivaldi, 1994, JNS)や運動学習過程を予測・再現するための数理モデルの構築(Thoroughman et al., 2000, Nature)を通じ、脳内機構が検証されてきた。しかしながら、未だに運動学習の脳内機構は明らかでない部分が多く、近年になりようやく様々な実験結果を統一的に説明できる数理モデルの提案 (Takiyama et al., 2015, Nature Comm)やヒトを対象とした運動学習中の脳波計測(Tan et al., JNS, 2014)が報告され始めた。

一方、脳波活動を積極的に応用する流れが盛んである。例えば認知課題に関連する脳波活動を被験者にフィードバックし該当する脳波成分を高めてもらうトレーニング(ニューロフィードバックトレーニング[以下NF])を行うことで、認知課題のパフォーマンスが向上することが知られている(Zoefel et al., 2010, NeuroImage)。しかしながら、未だにNFにより運動学習能力が向上するか否かは報告されていない。

② 目的 (課題設定とねらい):

本研究の目的の一つ目は、運動学習の数理モデルに基づき、運動学習に関連する脳波成分を厳密に議論し、運動学習の脳内機構の解明に貢献することである。主流な運動学習の数理モデルである状態空間モデル(Thoroughman et al., 2000, Nature)では、 t 試行目での運動記憶量 $x(t)$ が目的の運動を達成するためには不十分であり運動誤差 $e(t)$ が生じたとき、次の運動では運動誤差を小さくするように $x(t+1) = \lambda x(t) + \eta e(t)$ ($0 \leq \lambda \leq 1, 0 < \eta$) に従い運動記憶量を更新すると考えられている。ここで、 λ は試行毎にどれだけ運動記憶が保持されるかを表す**保持率**、 η は運動誤差がどれだけ運動学習に反映されるかを表す**学習率**である。本研究では数理モデル、脳波計測、そして行動実験の融合的アプローチにより、忘却率、学習率、そして運動誤差に関連した脳波成分を同定する。また、運動学習能力を向上させるためには、保持率 λ は1に近い値を取り運動記憶を保持し、学習率 η は適切に大きい値を取り運動誤差を素早く減少させることが望ましい。本研究の目的の二つ目はNFにより忘却率 λ 、学習率 η を変化させ、運動学習能力を向上させることが可能か否かを検証することである。

③ 学術的な独自性と意義:

既存研究では運動誤差 $e(t)$ に関連した脳波成分のみに焦点が当てられてきた(Tan et al., 2014, JNS)。数理モデルに基づき運動学習の脳内過程を理解するためには、忘却率 λ 、学習率 η の脳内表現を理解する必要がある。応募者は運動誤差 $e(t)$ の大きさは同じながらも学習率 η のみを向上させるトレーニング方法を提案しており(Takiyama et al., 2015, Nature Comm)、応募者が提案したトレーニング方法を用いることで、学習率 η 、忘却率 λ 、運動誤差 $e(t)$ の成分を明確に分離し各々に相関する脳波成分を議論することが可能となる。数理モデル、行動実験、脳波計測の融合的アプローチにより、未だ明らかでない運動学習の脳内機構の解明に貢献することが本研究の独自性・意義である。加えて、NFにより研究成果が確固たるものと示すと同時に、本研究成果の応用可能性を見出す。

④ 期待される成果と発展性:

運動の終了時に観測される運動野脳波活動の β 波成分(12-30Hz)の大きさが運動学習に関わることが報告されている(Tan et al., 2014, JNS)。一方、運動学習におけるその他の脳波成分(α 波(8-12Hz)、 δ 波(1-3Hz)など)の機能的役割は明らかになっていない。応募者が提案したトレーニング方法を用いることで、例えば β 波成分は運動誤差 $e(t)$ 、 α 波成分は学習率 η 、 δ 波成分は保持率 λ に関連した成分である、など各脳波成分の機能的役割を厳密に議論できる。これにより δ 波、 α 波成分のNFにより保持率、学習率の改善が期待でき、将来的に効果的なりハビリテーションやスポーツトレーニングへの応用が期待できる。

① 背景

これまで国内外において、磁界と放射線や化学物質(DNAに変異をあたえるもの)との併用曝露による影響については、いくらか研究されている。申請者はこれまでの研究において、細菌細胞での薬剤作用が交流磁場曝露により増強されることを見出している。この磁場による薬剤増強は、検討した7種の薬剤のいずれにおいても見られ、この薬剤のなかには、臨床において抗がん剤としても用いられるものが含まれていた。

一方、抗がん剤は一般に、がん細胞だけでなく正常細胞にもダメージを与え、副作用を引き起こすため、がん化学療法において、抗がん剤の副作用を抑えることは重要な課題である。

そこで、磁場による薬剤作用の増強がヒトがん細胞において確実であれば、がん組織に交流磁場を曝すことで薬剤の効能を標的部位で高めることができるため、投薬量を減らし、副作用を抑えられる可能性がある。

申請者は、この磁場によるがんの標的化学療法の確立に向けて研究を進めており、本研究ではそのメカニズムを基礎的に検討したいと考えている。なお、上述のように国内外ともに磁場と薬物の併用による生体影響評価に関する研究はいくらかなされているが、磁場によるがん標的化学療法を目指した研究は他になく、ユニークな研究である。

② 目的

現在、申請者は磁場によるがんの標的化学療法を目指して、ヒトがん細胞での薬剤作用における磁場影響を測定しているところである(H27-29科研費基盤C)。いまのところ、薬剤の種類によって、磁場による影響効果に違いがある傾向がみられているため、がん細胞での磁場による薬剤作用の増強メカニズムが明らかとなれば、医療応用に向けて効果の出やすい薬剤の選択などが可能になると考えられる。そこで本研究では、ヒトがん細胞での薬剤作用増強における磁場影響メカニズムを解明することを目的としている。

③ 学術的な独創性と意義

現在、ヒトがん細胞における薬剤作用の磁場による増強効果が、薬剤の種類により違いがみられる傾向がみられている。この違いを生む原因を解明する、つまり薬剤作用への磁場の影響メカニズムを明らかにすることが本研究の学術的な独創点である。これまでの申請者の結果から、細菌細胞では、磁場により薬剤の細胞内への取り込み量が増加し、それにより薬剤が増強されることが示唆されている。他の研究者は、50 Hz磁場により細胞膜タンパク質の立体構造が変化すること、またその変化は可逆的で磁場曝露中にのみ見られることを報告している(Bioelectromagnetics, 24, 457-464 (2003))。細胞膜タンパク質群は細胞内外の物質輸送に関わるが、申請者は薬剤を添加せず、がん細胞に磁界のみ曝露した場合には、細胞増殖への変化は見られないことを確認している。薬剤添加の場合に、磁場曝露群において薬剤作用の増強が見られるのは、抗がん剤が強い作用を有する薬剤であるため、磁場が膜タンパク質に変化を与え、薬剤の取込量が少し増加しただけでも大きな作用増強につながるのかもしれない。この点、磁場曝露による細胞内への薬剤取り込み量の変化および細胞膜電位への影響、を明らかにしたいと考えている。

④ 期待される成果と発展性

本研究により、がん細胞での薬剤作用における磁界影響メカニズムを明らかにできれば、磁場のがん標的化学療法として効果の出やすい薬剤の選択が可能となると考えられ、医療応用につながることが期待できる。

(研究の全体構想)

申請者らは近年、二本鎖DNAを注入すると、その配列をもつ遺伝子機能が阻害される現象を発見し、DNA 干渉 (DNAi) と命名した。これは多細胞動物で初となるDNAiの発見である。本研究では、DNAiの実行因子の同定と、作動機序の解明を目指す。具体的には、RNAi干渉 (RNAi) のしくみを参考に、(1) DNAiをになう核酸分解酵素の同定、(2) DNAiにおいて合成され、(1)と結合するガイド鎖の解明を行う。最終的にはこれらをもとに (3) 他の動物種にDNAiの再構築を試みる。以上により、外来性の核酸への応答反応の制御など、新たな応用技術の開発に資する基礎的知見を提示できると期待している。

(背景と目的)

DNAiは、申請者らが脊索動物のオタマボヤ *Oikopleura dioica* で見出した、二本鎖DNAによる遺伝子機能の阻害現象である (Proc. R. Soc. B 282(1807): 20150435, 2015)。たとえば脊索の形成因子 Brachury のDNA断片の注入胚では、当該遺伝子のmRNA量が10-20%に減少し、脊索の形成が阻害される (図1)。この効果は配列特異的で、他の遺伝子のDNAiでは、脳や内胚葉の形成不全を確認している。

DNAiはRNAiに似る。RNAiでは、二本鎖RNAが引き金となり、核酸分解酵素のアルゴノート (AGO) とガイド鎖の小分子RNA (miRNA) との複合体が形成され、miRNAに相補的な配列のRNAを分解する。DNAiでも同様にmRNA分解が起きるので (図3)、AGOがかかる可能性が高い。オタマボヤにはAGOが8つある (図2)。これらにもとづき、本研究ではDNAiの実行因子



図1 DNA interference (DNAi)。BrachuryのDNA断片の注入胚 (右図) では脊索の形成不全が生じる。左図は対照群 (EGFPのDNAの注入胚)。

と作動機序の実体解明に挑戦する。具体的には、以下3つの課題を進める。

- (1) DNAiにおいて合成されるガイド鎖の実体を明らかにする。
- (2) 8種類のAGOのうち、(1)のガイド鎖と結合するものを同定し、その機能的ドメインを解明する。
- (3) (1)と(2)の知見をもとに、他の動物種にDNAiを再構築することを試みる。

(学術的な独自性と意義・期待される成果と発展性)

以下2つが大きな意義で、インパクトある論文となると期待される。

- 1) 後生動物で前例のない遺伝子ノックダウン現象が対象であること。DNAiはこれまで、動物では存在すら不明だった。その一方で、RNAiは研究の歴史が長く、AGOやmiRNAによる動作原理も解明されている。幸い、オタマボヤはAGOが8種と多く、RNAiとの比較に有利である。DNAiをになうAGOやmiRNAを明らかにすることで、この新しい遺伝子ノックダウン現象の特性が見えてくるものと期待される。
- 2) 核酸への応答反応を操作する応用技術に貢献する。RNAiは元来、ウイルスなどの外来性の核酸への防御反応とされ、分子レベルの作動機序に基づく創薬研究も行われている。同様に、DNAiをになう核酸分解酵素を同定すれば、DNAウイルスなどへの応答反応を制御する技術開発につながる。将来的には、特定した酵素の機能ドメインを活用し、他の動物種にDNAiを再構築することを予定している。このように学術面のみならず、応用面での発展性も秘めており、大きな波及効果が期待される。

① 背景

現役のデジタル世代が高齢化する10年後では、世代シフトにより高齢者へのデジタルデバイス普及率は8割を超える。よって、老眼を考慮した視認性向上のための画像処理が強く求められる。一般的に老眼として呼ばれる視覚機能の低下は、眼の焦点調節能力の劣化により、対象物がボケて見える現象である。ボケに対する対処法として老眼鏡が広く用いられているが、ボケを補正しているわけではなく、単に拡大表示をしてボケが認知へ及ぼす影響を軽減しているに過ぎず、本質的な対策とは言い難い。また、視野が狭くなることも欠点と言える。この老眼鏡に代わる方策として、ディスプレイ側に工夫を施して、ボケを補正する試みがなされているが、未だ決定的な方法は見つかっていない状況にある。

② 目的

デジタル画像・映像デバイスの更なる普及に備え、高齢者が、老眼鏡なしで、ボケを感じない画像(老眼補償画像)を生成する方法を開発し、グラスフリーディスプレイ法を確立する。

③ 学術的な独自性と意義

画像・映像処理の分野では、古くから様々な研究が行われているが、ヒトの視覚特性、とりわけ高齢者の視覚特性を考慮した画像・映像強調手法に関する研究領域は未開拓領域であり、独創的であると言える。ヒトの視覚特性、特に加齢による視覚特性の変化は、心理物理的な現象で解析・数理モデル化が難しく、重要な特性であるものの画像処理と直接結びついた工学的な応用研究は世界中を見渡しても例が少ない。高齢者の視覚についての心理物理的研究や高齢者視覚シミュレーションの研究は国内外でこれまでも行われてきたが、加齢による視覚特性を踏まえた画像・映像強調変換はほとんどない。本研究の完成は、高齢者を対象とした画像処理研究を加速させるものになると考えられ、学術的意義が大きい。また、高齢者が視覚的ストレスなく、スマートフォンやタブレットといった小型ディスプレイを有するデジタルデバイスを活用できる環境を提供することは、高齢者のQOLの向上に資するのみでなく、若年層と老年層との共生社会の実現においてその社会的意義は大きい。

④ 期待される成果と発展性

本研究で開発する老眼補償画像の生成法は、申請者が開発した学習アルゴリズムに基づく方法を想定しており、高齢者各個の老眼の程度に応じた画像変換を適応的に行えるという特徴がある。これを既存のデジタル表示デバイスに実装することで、高齢者は老眼鏡や拡大鏡を介することなく閲覧できるようになることが期待される。視認活動は日常的に頻繁に行われる行為であり、デジタル表示デバイスの明視性・視認性の飛躍的な向上は、全世代総デジタル化社会において、人類の Quality of Lifeを直接的に向上させる。一方、新聞や書籍などでデジタル化されていないアナログ媒体に関しても、ウェアラブルカメラやディスプレイを活用することで、本方法が適用することが可能である。これは一見、グラスレスと矛盾した措置に思えるが、老眼鏡との決定的な違いは、ボケの解消が行える点である。また、本方法は、弱視のような極端に視力が低下した状態や、色覚異常に対しても、視認可能な画像変換が行える可能性を有しており、適用範囲は広範である。

①背景

リハビリテーションやフィットネストレーニングの用途で、コンピュータ模擬環境であるヴァーチャルリアリティ(VR)の利用が進んでいる。2016年はVR元年と目され、2025年にはヘルスケア分野の市場はビデオゲーム分野に次いで51億ドル規模まで膨らむと試算されている(Goldman Sachs, 2016, Equity Research)。「VRはリアルだ」と半盲目的に謳われるが、VR環境が使用者に与える実在感(sense of presence)に関して、その神経科学的エヴィデンスは乏しい。VRの実在感を評価することは、今やコンピュータ科学分野のみの検討課題ではなく、利用が急進する生理学や心理学など多様な学術分野において喫緊の問題となっている(Sanchez-Vives & Slater, 2005, Nature Reviews Neuroscience)。

一方、立位バランスを保持するための姿勢制御は古くから関心の高い研究課題である。ヒトが体肢を動かすときそれに先行して姿勢筋の活動が発現することは、予測性姿勢調節(Anticipatory Postural Adjustments: APAs)として広く知られている現象である(Belen'kii et al., 1967, Biofizika)。近年では、視覚情報の量および質が、APAsとその後に続く代償性姿勢調節(Compensatory Postural Adjustments: CPAs)に作用することが報告されている(Mohapatra et al., 2012, Clinical Neurophysiology)。

②目的

本研究テーマでは、脚上げ動作中の立位保持課題を対象とした筋活動計測と動作解析から、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)に呈示されたVRの視環境が使用者に与える実在感について検討する(図1)。ここで、互いに設定条件を近似させた実環境とVR環境とを比較することにより、コンピュータ模擬呈示が姿勢制御をどのように、またどの程度変調させるのかを明らかにする。このテーマに対して以下の2つの到達目標を設定する。

目標①：単純脚上げ動作における姿勢調節の評価

目標②：障害物踏み越え動作中の姿勢調節に対する実空間とVR環境との比較

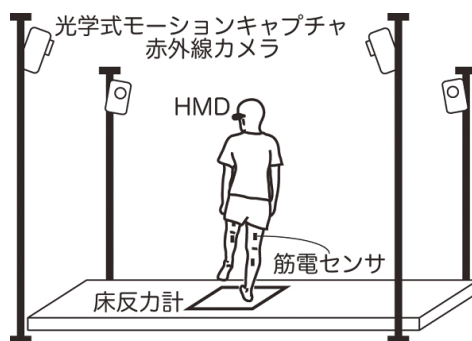


図1 実験系と動作課題

③学術的な独自性と意義

本研究テーマは、VR環境に対してヒトが感じる知覚特性を調べるために、姿勢研究の手法を利用することに特色がある。従来、実在感は調査紙などの主観的評価により測定されてきたが、神経生理学的・バイオメカニク的な生体応答を指標として実証することで、より客観性の高い議論が可能となる。よく知られている「動く部屋の実験」(Lee & Lishman, 1975, Journal of Human Movement Studies)のようにVRを視覚刺激呈示ツールとして用いる研究は多いが、実環境とVR環境で運動行動を比較する実験アプローチは希少であり、実験的統制のため高度な専門的技術が求められる。

④期待される成果と発展性

本研究を行うことで、視環境特性による姿勢調節方略の変調パターンが明らかになり、また実空間とどの程度相違・類似するのか定量的な評価が得られる。これは、例えばVRを利用したリハビリテーションシステムやトレーニングプログラムを構築するにあたって、神経科学的エヴィデンスを提供することに繋がる。ひいてはコンピュータ化社会と高齢化社会が急激に進む国内外において、次世代型ヘルスエンジニアリング技術の開発に向けて貢献する研究テーマといえる。

研究者 青山学院大学理工学部 教授 田 邊 一 仁

研究の背景

現在、がんの治療法としては外科療法、放射線療法、化学療法などがある。しかし、がんは単に治りさえすれば良いというものではなく、患者の社会復帰を十分に考慮し、臓器や体の形と機能をできるだけ損なわないような治療が望まれている。このような中、外科的な措置を行わず、かつ全身への負担が少ない放射線療法の重要性がますます高まっている。

他方、現行の放射線療法は必ずしも最適な照射条件で進められていないことがわかってきた。放射線療法は、がん部位に直接放射線を照射することで殺細胞効果を得るものであるが、その効果は、組織内の酸素濃度に大きく依存することが知られる。放射線治療は十分な酸素濃度をもつ腫瘍には高い殺細胞効果を示す一方で、酸素濃度が低い場合にはその効果は約3分の1程度に弱まる。これまで、腫瘍は酸素濃度が低いと言われてきたが、近年、腫瘍内の酸素濃度は必ずしも低酸素状態で一定ではなく、短い時間間隔で変動していることが示された。すなわち、腫瘍内の酸素濃度が高まった時点で放射線を照射すれば非常に効果は高いが、酸素濃度が低い時点で照射しても治療効果は限られる。現在、短時間の酸素濃度変動をリアルタイムに、かつ簡便に計測する技術はなく、酸素濃度が未知なまま放射線が腫瘍に照射されている。

研究の目的

このような課題を解決すべく、本研究では腫瘍内の酸素濃度を発光をモニターするだけでリアルタイムに計測する診断システムを構築すると共に、放射線を腫瘍部に照射し、酸素濃度と殺細胞効果の相関を得ることで、最高の治療効果を示す放射線照射条件を探索する。

具体的には、ルテニウム錯体の酸素濃度依存的なりん光発光を活用した酸素濃度定量プローブを作成すると共に、動物に投与し、腫瘍内の酸素濃度とその変動をリアルタイム計測する。放射線を動物の腫瘍に照射し、酸素濃度と殺細胞効果の相関を調べ、最適な放射線照射条件を決定する。

本研究では、まず、ルテニウム錯体にさらなる化学修飾を加え、酸素濃度の計測機能を付与し、腫瘍組織の酸素濃度変動をリアルタイムに定量する分子プローブを開発する。続いて、これまでに進めてきた放射線活性化がタプロドッグ開発研究の際に得た動物への放射線照射技術を使って、腫瘍部に放射線を照射し、酸素濃度と殺細胞効果の関係を調べる。なお、放射線としては放射線療法に広く用いられるX線を使う。

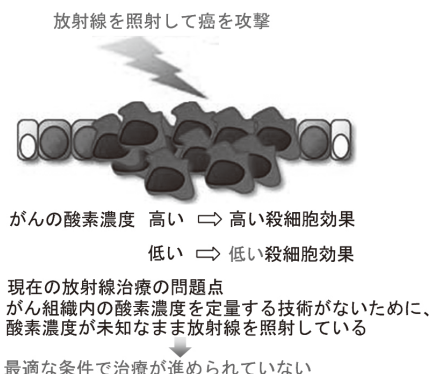
学術的な独自性

酸素濃度は、放射線治療に大きな影響を及ぼし、酸素濃度が低い場合は治療効果が低減することが分かっていたにも拘らず、酸素濃度変化を直接観測しながら、放射線を照射するという報告例は皆無である。これは、これまでに腫瘍の酸素濃度をリアルタイムに計測する術が無かったためである。申請者らは本研究で用いる金属錯体を活用して、腫瘍内の酸素濃度が秒単位のスケールで変化していることも既に明らかにしており、本研究では酸素濃度のすばやい変化と放射線の効果の相関を得たいと考えている。

今後の発展

放射線治療は非常に有効ながん治療法であるが、その殺細胞効果には酸素が大きく影響し、酸素濃度が低ければ低いほど治療効果は低下する。とりわけ、放射線治療に幅広く用いられるX線やγ線はその傾向が特に顕著である。すなわち、照射部位を酸素濃度の視点で選んだ上で照射しなければ、より良い治療効果は期待出来ず、これまでもがん再発につながる可能性が指摘されてきた。本研究によって、腫瘍内部の酸素濃度を明らかにし、「どのタイミングで」、「どの部分に」放射線を照射すべきかを検討することによって、効果的な放射線治療指針を示すことができる。

他方、本研究で用いるルテニウム錯体は、酸素濃度の定量用プローブとして用いるが、低酸素下で強い発光を示すため、虚血性疾患(梗塞など)や固形がんなどの酸素濃度が病態情報と密接に関係をもつ各種疾病を検出する診断薬ともなり得る。すなわち、本研究は放射線治療の指針を与えるだけでなく、診断の分野においても貢献できる。



①背景

夏の晴れた朝、テレビからは「熱中症に気を付けましょう」とアナウンサーが注意喚起をする。梅雨があけると、市役所には飲料水を持ったアイドルと「熱中症に気を付けましょう」という文字が印刷されたポスターが張られる。テレビやポスター、広報や防災メール、うちわや飲料水の配布など、夏には様々な媒体を介して熱中症への注意が呼びかけられている。しかし、多額を投じて注意喚起や物品の配布が行われているにもかかわらず、熱中症の発症は抑えられていないことが申請者の研究で明らかになった。もちろん、ガイドラインに基づいて屋外での体育の授業の実施の可否を判断し、空調設備を設置・運用している小中学校などでは熱中症の危険性は低減している。その一方で、注意喚起がなされているものの、設置されているエアコンが使用されないことによる高齢者の熱中症が多発している。

熱中症による救急搬送は、毎年4~5万件に上る。その半数は、65歳以上の高齢者である。「エアコンを使う」ただそのことだけのことで、何万人もの高齢者の健康・命を守ることができる。

②目的

高齢者のエアコンの使用を誘発する情報の提供「媒体」および情報の「内容構成」を明らかにし、その知見に基づきポスターや防災メールの「内容構成」を設計し、高齢者の熱中症の発症を低減することが、本研究の目的である。具体的には、高齢者を対象としたエアコンを使用する可能性に関するアンケート調査と、実際の情報の「媒体」および「内容構成」ごとの効果検証実験を通じ、情報が提供される「媒体」毎に、効果の大きな「内容構成」の設計方法を明らかにする。行為の誘発に関する「媒体」および「内容構成」の効果を体系的に明らかにするという学術的な調査・報告にとどまらず、調査研究の成果を還元する実践を行い、机上の成果に加えて現場での成果を得ることも企画している。

③学術的な独創性と意義

熱中症に関しては、その発症原因や発症時の対処法の研究は、特に医療や労働環境の分野から過去に数多くなされており、熱中症の予防法についても具体的な予防行為が医療の分野から提案されている。その行為の誘発(動機づけ)に関しては、行動経済学の分野で規範活性化理論やプロスペクト理論が知られているのに加え、教育学でのコーチングや経済学でのマーケティングなど様々な分野で研究がなされており、本研究でも大いに活用する。しかし、動機づけの方法ごとの効果を比較した研究は少なく、本研究はその数少ない一つである。さらに、情報を提供する媒体毎の効果に着目した事例は少なく、対面からIoTまで情報の伝達媒体が多様化した現在、本研究の必要性は高い。提供する情報の内容構成とその伝達媒体の効果を検証する本研究は、体系的な学術研究であるのに加え、社会実装を想定した実践的な研究でもある。

④期待される成果と発展性

本研究により、学術的には、動機づけに関する理論を体系的に比較する基礎的な成果を得る。また、多様な媒体毎の、情報提供の効果の違いに関する体系的な基礎資料を得る。本研究は、熱中症を防ぐことを主な目的とするが、処方された薬の適切な服用やスマートフォン依存の予防など、自主的な自助行為の誘発にも応用できる発展性を持つ。さらに、熱中症を防ぐことに関しては、多くの自治体が発行している防災メールやポスター、様々なメーカーが販売しているエアコンや温度計など、情報提供媒体毎に行為の誘発に有効な行動理論を判断することを本研究は可能とし、提供する情報の価値や情報を提供することの効果が高められる。

①研究背景

「オープン・イノベーション」の概念が広く普及した現在、半導体やITなどの技術の進化スピードが著しい産業においては、自社での技術開発を補完する手段としてM&Aが活用されるようになっている。シスコシステムズはAcquisition and Developmentを唱え、あるいはインテルは自社ベンチャーキャピタルを用い、マイクロソフトやアップルといった企業もこれに倣うようにして有望技術をもつ企業の買収を行うようになっている。

こうした情勢を受けて、M&Aが企業の技術発展に与える効果を検証せんとする研究が国内外で盛んになっている。概して言えば、技術獲得を目的としたM&Aはおおむねその効果を上げていることがすでに実証されているが、より詳細に見れば成果を上げやすい買収の形とそうでない形とがあることが過去の研究では指摘されてきている。だが、具体的にどのような買収が成果を上げうるのかについてはまだ確たる答えは得られていない。

②本研究の目的

本研究は①で述べた研究背景を踏まえて、技術獲得目的の買収が最も盛んにおこなわれている半導体産業のデータを用いて、技術発展に貢献しうるM&Aとはいかなるものかを探索する。半導体産業企業にかかわる買収実施状況のデータ、特許取得状況のデータ、製品売り上げデータ、そして財務データを15年分(2001-2015)準備し、それらを統計的に解析していくことを通じて、望ましいM&Aの在り方を分析する。

③学術的独自性と意義

過去の研究ではM&Aの効果の概観をとらえることを目的に、様々な産業の買収案件を用いて分析を行っていた。本研究では、あえて半導体産業に絞り込みつつ、長い時系列にわたる包括的データセットを構築することで、より「深い」データ解析を行うことを狙う。すなわち、マクロ経済状況、企業間の競争環境、個別企業の財務状況など様々な要因がいかにM&Aに影響を与えているのかを総合的に検証しようとするのである。

④期待される成果と発展性

本研究は、技術進化の著しい産業環境のなかで、技術開発を促進するM&Aのありようを明らかにすることを通じて、社会及び企業の健全な発展に貢献しうる。とりわけわが国エレクトロニクス産業企業においては、M&Aは依然として有力な経営手段としては扱われていない現状にある。海外メーカーがすでに積極的にM&Aを活用している現状、国内企業を啓発し指針を与える意味で、本研究は一定の意義があるものと思われる。

また、本研究はいわゆる「ビッグデータ」的統計解析のひとつであり、膨大なデータから企業行動の特徴と効果を明らかにしようとするものである。当領域ではそうした試みはまだ入り口段階であり、今後更なるデータの拡充を通じて、有効なM&Aが解明されていく可能性がある。本研究はそのための礎となりうるものである。

①背景(内外における当該分野の動向)

日本の女性労働者の特徴は、育児期に労働力率が低くなるM字の形をしていることから、多くの研究は、女性側に問題があると考え、女性の意識や、両立環境などにその原因を求めてきた。しかし、近年になるほど、キャリアの先がみえないなどで転職する女性が増えており、結婚や出産での離職を予想して男性と同じような育成の機会を与えない企業の育成のやり方に問題があることを日本女子大学現代女性キャリア研究所調査(「女性とキャリアに関する調査」,2011)データの分析によって明らかにした。

日本では、人材育成における企業の役割が大きく、企業内部における人材育成のノウハウは蓄積されているが、初職を辞めた後の労働者についての調査研究はそれほど行われていない。しかし、多くの女性はライフサイクルのなかで、離職しながらキャリアを形成していく。このメカニズムを明らかにし、離職した女性の再就職を支援することは、日本の社会での女性人材の育成とその活用を考える上で非常に重要である。

②目的(課題設定とねらい)

本研究の目的は、高学歴女性のキャリア形成に関する実態の分析とそこに果たす教育機関のあり方について考察することにある。継続して働いている女性のキャリア形成についての分析に加え、転職をした女性のその後の状況を追跡することで、転職を成功させるための要因は何か、再就職に必要とされるスキルは何か。どのような家族や家族以外のネットワークの存在が再就職に有効なのか、などについて、既存の関連するデータの二次分析と企業ヒアリングおよび再就職者へのインタビューを通じて明らかにし、日本の女性労働者の再就職支援の具体的な方策について考察する。

③学術的な独自性と意義

先進国と比較して、日本では、内部労働市場(企業の組織内部)によって人材育成がなされることから、転職しながらキャリアを形成する外部労働市場が十分に発展していない。そのために、行政の再就職支援もおもに切実に就業を必要としているひとに限られており、高度人材の再就職はむずかしく、結果として多くの熟練をつんだ女性人材が家庭に埋もれている。また、非正規職など、熟練をそれほど必要としない職についている女性も多い。日本では高学歴女性であっても初職を継続している女性は3割に満たず、7割の女性は離・転職をしており、後者の人材を発掘し、活躍の場を提供することは、日本経済の今後の発展に欠かせない。にもかかわらず、眠れる人材の発掘と就業支援に関する研究はほとんど行われていない。また、他の先進国では、ここに教育機関が重要な役割を果たしているにもかかわらず、大学における社会人の再就職支援に関する研究は皆無に等しい。本研究はこの空白地帯に参入し、日本の今後のよりよい人的資源の活用のための教育機関のあり方に関して研究する。このような研究の社会的意義は大きいと考える。

また、本研究は学際的な研究分野をもつ研究者の共同研究であり、再就職のメカニズムをより多角的多層的に分析することができる。

④期待される成果と発展性

女性の活躍を推進することは日本の経済にとって非常に重要な課題となっている。また、転職しやすい労働市場を作ることは、女性だけでなく男性にとっても、非正規労働者が正規労働者になる道を開くためにも重要になっている。また、日本女子大学には女性の再就職を支援するリカレント教育課程があり、研究成果を教育課程のプログラムに反映させることによって、その成果を具体的に受講生に還元することができる。また、本研究による成果は、他大学における学生のキャリア支援に対しても有益な示唆を与えるものと考えている。

①背景

我が国には、「人手をかけることで、生物生産性と生物多様性が高くなった沿岸海域」と定義される里海が全国に存在し、海洋環境を持続的に管理してきた歴史がある。昨今、海洋汚染や漁師の減少など様々な課題に直面し、今後も里海を保全していくためには、海洋について理解や関心を深めるための教育がこれまで以上に必要とされている。特に将来里海を管理を担っていく可能性がある沿岸地域の子どもへの教育は重要である。しかし、学校教育現場では、海洋教育を担当できる教員や教材が不足しているため、海洋教育の推進のためには、海洋教育に関するカリキュラムや国内の先進事例を蓄積するとともに、その価値や効果について理論構築することが求められている。

②目的

岡山県備前市日生町は漁師が積極的に海の保安全管理を行ってきた里海を有することで広く知られており、同町に位置する日生中学校では、漁業組合などとの連携のもと全学年を対象とした総合学習として海洋教育に取り組んでおり、里海の保全を行う先進的な取り組みとして注目を集めている。本研究では日生中学校を対象として、里海の保全を目指す一連の教育プログラムが生徒に与える教育効果を明らかにし、海洋教育の意義を明らかにする。具体的には、日生中学校における海洋教育プログラムを生徒の反応や表情に注目しながら参与観察を行い、新入生が加わる年度の始まり(2017年4月)に全学年の生徒に対して聞き取り調査を実施する。聞き取り調査では、生徒の海に対する意識や知識、また海を保全することへの関心などを明らかにする。更に、同年4月下旬には、全校生徒(約200名)への質問紙調査を実施し、海洋教育プログラムの意義や効果を定量的に示す。助成期間後も聞き取り調査及び質問紙調査を毎年継続して実施することにより、生徒の意識の変化を明らかにし、教育効果を検証する。

③学術的な独自性と意義

従来環境教育の効果測定は単発的なアンケート調査などで行われることが多かったが、本研究ではアンケートだけでなく、生徒の参与観察や聞き取りという定性的な手法を用い、1年間にわたり継続的に調査を行うことが特色である。日生中学校では3年間を通して様々な海洋教育プログラムが行われているため、生徒への教育効果は高いと思われ、その測定のためには長期的・継続的な調査設計が必要である。また授業を受けることで生徒が得た新たな感情や微妙な意識の変化は定量的に測定することが難しく、定性的なアプローチが有効である。定性的・定量的手法を併用した継続的調査により、教育効果の総合的な効果を明らかにした学術研究は国内外を問わずほとんど存在しない。二つ目の特色は、中学校と調査者の連携のもと本研究が行われることであり、調査結果は日生中学校のカリキュラムの改善に役立つと期待される。

④期待される成果と発展性

本研究より、体験型海洋教育プログラムが生徒の意識や行動の変化に与える影響が明らかになり、海洋環境の持続的な保全及び利用を行うための海洋教育の役割や意義を提示できる。本研究結果は、同様の取り組みを行いたいと考えている全国の小中学校にとって参考になる資料になり、すでに海洋教育に取り組んでいる学校においては、カリキュラムの改善案を考えるためのモデルケースとなることが期待される。また海洋リテラシーや地域への愛着尺度などの先行研究で得られた知見をもとに本研究のために設計された評価項目(意識尺度)は、他地域の中学校で海洋教育を実施する際に、また教育効果を図る際に参考になるモデル指標となることが想定される。

公益財団法人 カシオ科学振興財団
事務局

〒151-8543 東京都渋谷区本町一丁目6番2号
電話 (03) 5334-4747

再生紙を使用しております。